ENCYCLOPÉDIE

CHIMIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. FREMY

Membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique, directeur du Muséum
Membre du Conseil supérieur de l'instruction publique

PAR UNE RÉUNION

D'ANCIENS ÉLÈVES DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DE PROFESSEURS ET D'INDUSTRIELS

ET NOTAMMENT DE

MM. ALFROY, chimiste industriel; AUDOUIN, ing. en chef des travaux chim. à la Compagnie parisienne du gaz
H. BECQUEREL, répétiteur à l'Ecole polytechnique; BERTHELOT, sénateur, membre de l'Institut
M. BOURGEOIS, ancien élève de l'Ecole polytechnique, attaché au laboratoire de géologie du Collège de France
BOURGOIN, professeur à l'Ecole de pharmacie; CAMUS, directeur de la Compagnie du gaz
Ad. CARNOT, directeur des études de l'Ecole des Mines; CHASTAIN, pharmacien en chef de la Pitié;
CLOEZ, examin. de sortie à l'Ecole polytechnique; CLOEZ fils, répét. à l'École polytechnique
CURIE (J.), préparateur du cours de minéralogie à la Sorbonne
DEBIZE, ing. en chef des man. de l'Etat; DEBRAY, membre de l'Institut; DECAUX, s.-direct. des teintures aux Gobelins
DEHÉRAIN, professeur au Muséum; DITTE, professeur à la Faculté des sciences de Caen
DUQUESNAY, ingénieur des manufactures de l'Etat; DUCLAUX, professeur à l'Institut agronomique
EUVERTE, dir. des forges de Terre-Noire; De FORCRAND, docteur ès-sciences; GARNIER (Jules), ing. civil des Mines
GAUDIN, ancien élève de l'Ecole polytechnique, professeur de chimie; GIRARD, dir. du laboratoire municipal
GRANDEAU, doyen de la Faculté des sciences de Nancy; JOLY, maître de conférences à l'Ecole normale
L. GRUNER, inspecteur général des mines; HALLER, maître de conférences de chimie organique à la Faculté de Nancy
HENRIVAUX, s.-dir. de la manuf. des glaces de St-Gobain; JOANNIS, docteur ès-sciences, agrégé de l'Université
JOULIE, pharmacien en chef de l'hospice Dubois; JUNGFLEISCH, professeur à l'École de pharmacie
KOLB, directeur des usines de produits chimiques du Nord
LEMOINE, ing. en chef des ponts-et-chaus.; LEIDIÉ, pharm. en chef de l'hôpital Necker; LODIN, ing. des Mines
MALLARD, prof. à l'École des Mines; MARGOTTET, prof. à la fac. des sc. de Montpellier
MARGUIN, ancien élève de l'École polytechnique; MOISSAN, Agrégé à l'École de pharmacie
MOUTIER, exam. de sortie à l'École polytechnique; NIVOIT, prof. à l'École des p.-et-ch.; OGIER, doct. ès-sciences
PABST, s.-direct. du labor. municipal; PARMENTIER, s.-direct. du labor. d'enseig. chim. de la Faculté des sciences
PECHINET, direct. des usines de prod. chim. du Midi; RIBAN, direct. du labor. d'enseig. de la Sorbonne
PORTEZ, pharm. en chef de l'hôpital de Lourcine; PRUNIER, prof. à l'École sup. de pharmacie
SARRAU, ingénieur en chef des poudres et salpêtres; SCHLAGDENHAUFFEN, prof. à la Faculté de médecine de Nancy
SCHLŒSING, m. de l'Institut, prof. au Conserv. des arts et métiers; SOREL, anc. ing. des manufactures de l'État
TERREIL, aide naturaliste au Muséum; TERQUEM, professeur à la Faculté de Lille
URBAIN, répét. à l'École centrale des arts et manufactures; VIEILLE, ingén. des poudres et salpêtres
VILLIERS, chef des travaux pratiques à l'École de pharmacie
VIOLLE, prof. à la Faculté des sciences de Lyon, etc.

TOME IX — CHIMIE BIOLOGIQUE et CHIMIE PHYSIOLOGIQUE

2e SECTION — CHIMIE DES VÉGÉTAUX

Par M. FREMY

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES CHEMINS DE FER
DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Augustins, 49

1883

RECHERCHES

SUR LA

CHIMIE DES VÉGÉTAUX

Par E. FREMY

Lorsque j'ai été appelé, il y a trente-deux ans, par le suffrage de mes collègues, à la succession de Gay-Lussac au Muséum d'histoire naturelle, ce qui a été le plus grand honneur de ma vie scientifique, j'ai pensé qu'il était de mon devoir de donner à mes recherches de chimie organique une direction qui fût en rapport avec l'enseignement dont j'étais chargé.

J'eus alors la pensée d'entreprendre une série de travaux sur cette partie encore obscure de la *chimie des végétaux* qui se rapporte à la constitution *du squelette des végétaux* et aux principaux changements qui s'opèrent dans l'intérieur des cellules par l'action des ferments.

J'avais l'espoir de jeter ainsi quelque jour sur ces merveilleuses synthèses qui se produisent dans les végétaux, sous des influences qui nous sont inconnues.

Mes recherches, sur cette partie de la chimie des végétaux, se divisent en deux parties :

Dans la première, j'étudie les corps insolubles dans les dissolvants neutres qui constituent la charpente des végétaux.

La seconde est consacrée à l'examen de quelques modifications qui se produisent dans les cellules, et à l'étude de certains corps qui me paraissent jouer un rôle capital dans la végétation. C'est dans cette partie de mes recherches que j'ai déterminé les influences qui ont pu transformer en houille le squelette des végétaux, ou celles qui le détruisent complètement.

Mes études ont porté principalement sur les questions suivantes :

PREMIÈRE PARTIE

1° Composition chimique du squelette des végétaux : son analyse qualitative;

2° Caractères distinctifs des corps cellulosiques isomériques, tels que la cellulose, la paracellulose et la métacellulose ;

3° La vasculose; substance qui accompagne presque toujours les corps cellulosiques dans les tissus ligneux ;

4° La cutose; substance qui recouvre les parties aériennes des plantes et qui relie entre elles les fibres des végétaux ;

5° Fibres et faisceaux. — Rouissage chimique ;

6° Méthode générale d'analyse des tissus végétaux ;

7° Composition chimique des principaux organes des végétaux : feuilles, fleurs, fruits, tiges, racines, etc. ;

8° Substances gélatineuses des végétaux : pectose, pectine, acide pectinique, acide pectique, acide métapectique.

DEUXIÈME PARTIE

1° Composition chimique de la chlorophylle ;

2° Matières colorantes de quelques fleurs ;

3° Recherches sur les propriétés chimiques et sur la production des baumes ;

4° Sur la composition et le mode de production des gommes dans l'organisation végétale ;

5° Sur la composition chimique du pollen ;

6° Influence des engrais sur les betteraves à sucre ;

7° Sur quelques fermentations qui intéressent les végétaux, telles que les fermentations pectique, lactique et intracellulaire;

8° Mode de génération des ferments ;

9° Maturation des fruits ;

10° Caractères chimiques des combustibles fossiles.

11° Production artificielle de la houille et théorie de la formation des combustibles fossiles.

Je vais présenter le résumé des recherches que j'ai entreprises sur ces différentes parties de la chimie des végétaux.

PREMIÈRE PARTIE

COMPOSITION CHIMIQUE DU SQUELETTE DES VÉGÉTAUX

§ 1

On a considéré pendant longtemps les tissus des végétaux comme formés essentiellement par un seul principe, *la cellulose*, dont les propriétés pouvaient varier avec *l'état d'agrégation* de la matière organique et *l'incrustation* de cette matière par des corps étrangers appelés corps incrustants.

Mes recherches sur la composition chimique du squelette des végétaux que j'ai résumées devant l'Académie des sciences dans une série de communications, m'ont conduit à des résultats qui diffèrent sous tous les rapports de ceux qui ont été professés jusqu'à présent.

Je n'admets pas que les propriétés variables du principe qui constitue la charpente des végétaux soient dues à l'incrustation d'une substance unique, la cellulose, par des substances différemment dures.

La charpente des végétaux est formée par une série de corps qui diffèrent entre eux par leur composition et leurs propriétés : les caractères des corps ligneux varient donc avec le rôle physiologique qu'ils sont appelés à jouer dans la végétation.

Les propriétés du squelette des végétaux dépendent de la nature et des proportions des principes immédiats qui le constituent.

C'est là un point fondamental que j'ai d'abord à établir, car un grand nombre de chimistes et de physiologistes pensent encore aujourd'hui que c'est la cellulose qui forme la base unique du squelette des végétaux.

Il résulte de mes recherches que les tissus des végétaux, après leur épuisement par les dissolvants neutres, sont constitués par l'*association organique* des corps suivants :

1° Les corps cellulosiques (cellulose, paracellulose, metacellulose);
2° La vasculose ;
3° La cutose ;
4° La pectose ;

5° Le pectate de chaux ;
6° Les substances albumineuses azotées ;
7° Les matières minérales diverses.

Je vais établir l'existence de ces différents corps dans les tissus des végétaux. Je donnerai ensuite leurs propriétés et leur composition, et je dirai comment on peut les doser exactement dans les différents tissus.

§ 2

CORPS CELLULOSIQUES ISOMÉRIQUES

Les tissus des végétaux contiennent, selon moi, une série de substances isomériques que j'ai désignées sous le nom *de corps cellulosiques.*

Je fais rentrer dans ce groupe tous les corps organiques qui présentent les caractères suivants :

1° Ces corps sont insolubles dans l'eau froide et ne gonflent pas dans l'eau bouillante à la manière des substances amylacées ;

2° Ils sont solubles dans le réactif ammoniaco-cuivrique : cette action s'exerce quelquefois immédiatement; dans d'autres cas les corps cellulosiques ne deviennent solubles dans le réactif cuivrique qu'après avoir éprouvé l'influence de la chaleur, celle de l'eau bouillante ou l'action des réactifs énergiques telle que celle des acides ;

3° Le chloro-iodure de zinc les colore en violet;

4° Le sulfate basique d'aniline qui colore la vasculose en jaune paille, ne colore pas les corps cellulosiques;

5° La potasse qui gonfle si facilement les corps amylacés, n'agit pas sensiblement sur les composés cellulosiques, ou du moins ne les dissout que quand l'alcali représente presque de l'hydrate en fusion : il se produit dans ce cas de l'oxalate et de l'acétate de potasse, sans formation d'ulmate de potasse;

6° Les corps cellulosiques ne sont attaqués que lentement par le chlore et par es hypochlorites ;

7° L'acide azotique mono-hydraté, qui agit si rapidement sur les corps cellulosiques pour former la pyroxyline, n'exerce sur eux qu'une action lente, lorsqu'il est étendu d'eau ;

8° L'acide chlorhydrique n'agit souvent sur les corps cellulosiques que d'une façon lente et incomplète : cependant certains corps cellulosiques se dissolvent rapidement dans ce réactif; d'autres s'hydratent par l'action de l'acide chlorhydrique et deviennent pulvérulents ;

9° Les modifications que les corps cellulosiques éprouvent sous l'influence de l'acide sulfurique les caractérisent d'une manière très nette.

Les corps cellulosiques soumis à l'action d'un excès d'acide sulfurique concentré ou bi-hydraté se dissolvent sans coloration dans ce réactif; ils se changent d'abord en dextrine et ensuite en glucose.

Quand on désagrège lentement une substance cellulosique par de l'acide

sulfurique bi-hydraté, on obtient d'abord une combinaison d'acide sulfurique et de corps organique, qui peut être considéré comme un acide sulfo-organique et qui se combine aux bases.

Cet acide sulfo-organique est décomposé par l'eau et donne un corps gélatineux qui se colore en bleu par l'iode : cette combinaison iodée ne peut pas être confondue avec l'iodure d'amidon, car elle se décompose immédiatement dans l'eau en perdant sa coloration.

L'acide sulfurique, étendu d'une certaine quantité d'eau, transforme, comme on le sait, la cellulose en un tissu tenace.

Telles sont les propriétés des corps cellulosiques ; on voit qu'elles présentent une telle netteté qu'il est impossible de confondre ces principes immédiats avec ceux qui les accompagnent dans l'organisation végétale.

Quel est le nombre des substances cellulosiques que l'on peut extraire du tissu des végétaux ?

Sur ce point mes premières opinions se sont modifiées.

J'avais d'abord admis, dans le squelette des végétaux, l'existence de cinq substances cellulosiques que j'avais désignées sous les noms de *xylose*, de *paroxylose*, de *fibrose*, de *medullose* et de *dermose*.

En soumettant les substances cellulosiques à de nouvelles recherches, j'ai reconnu que j'avais peut-être exagéré, dans mes premiers travaux, le nombre des variétés isomériques de la cellulose; je les ai réduites à trois dans les mémoires que j'ai publiés en collaboration avec M. Urbain. Elles sont décrites sous les noms de *cellulose*, de *paracellulose* et de *métacellulose*.

Je vais faire connaître les propriétés qui permettent de distinguer les unes des autres ces trois substances cellulosiques qui sont isomériques et qui présentent la composition suivante :

C^{12}	44,44
H^{10}	6,17
O^{10}	49,39
	100,00

§ 3

CELLULOSE

Payen avait donné le nom de *cellulose* à la substance qui, selon lui, constituait presque exclusivement le squelette des végétaux.

J'ai réservé ce nom à la substance cellulosique qui se dissout immédiatement dans le réactif ammoniaco-cuivrique (réactif de Schweitzer).

La cellulose est répandue abondamment dans les tissus des végétaux : on la trouve, presque à l'état de pureté, dans les poils de la graine du cotonnier, dans le tissu utriculaire de certains fruits, etc. ; la cellulose constitue en grande partie le vieux linge, la charpie, le papier ; quand elle est compacte, elle acquiert alors une grande dureté ; la substance organique que l'on désigne dans le commerce sous le nom d'ivoire végétal est formée presque exclusivement par la cellulose.

§ 4

PARACELLULOSE

Cette variété de corps cellulosique ne se dissout dans la liqueur ammoniaco-cuivrique que lorsqu'elle a été modifiée par l'action de certains réactifs et principalement par celle des acides; elle se change alors en cellulose : la chaleur peut opérer aussi cette transformation.

La paracellulose accompagne souvent la cellulose dans les tissus des végétaux : c'est elle qui forme essentiellement les tissus utriculaires de certaines racines et les cellules épidermiques des feuilles.

§ 5

METACELLULOSE

Ce corps cellulosique est insoluble dans le réactif cuivrique, même après l'action des acides ; elle ne peut donc pas être confondue avec les deux autres substances cellulosiques ; elle se rencontre principalement dans les tissus des champignons et ceux des lichens; elle constitue la *fungine* de Braconnot.

§ 6

VASCULOSE

J'ai désigné dans un premier travail, sous le nom de *vasculose*, une substance qui est très abondante dans l'organisation végétale; elle accompagne ordinairement, dans les tissus des végétaux, les corps cellulosiques; elle forme en grande partie les vaisseaux et les trachées.

J'ai démontré que la vasculose ne pouvait pas être confondue avec les corps cellulosiques, car elle en diffère par sa composition et ses propriétés ; elle contient plus de carbone et moins d'hydrogène que les corps cellulosiques ; elle forme la partie lourde des tissus ligneux; elle est abondante dans les bois durs et dans les concrétions pierreuses des poires ; les coquilles de noix et de noisettes, les noyaux de pêches et d'abricots en contiennent souvent plus de la moitié de leur poids.

La vasculose est insoluble dans l'acide sulfurique bi-hydraté et dans le réactif cuivrique; elle se dissout dans les liqueurs alcalines sous l'influence de la pression; elle est attaquée par tous les agents oxydants, tels que l'eau de chlore, les hypochlorites, l'acide azotique, l'acide chlorique, l'acide chromique, les permanganates, l'eau oxygénée, etc.; on voit qu'elle présente des propriétés qui sont bien différentes de celles de la cellulose.

Pour faire l'étude complète de la vasculose, j'ai eu recours à la collaboration de M. Urbain.

Je vais donner ici le résumé de ce second travail.

§ 7

La substance que j'ai nommée *vasculose* et dont je complète ici l'étude dans un second travail que je publie avec M. Urbain, est répandue dans toute l'organisation végétale; elle peut être extraite de presque tous les tissus des végétaux ; elle accompagne les corps cellulosiques et constitue la plus grande partie des vaisseaux et des trachées : c'est elle qui, dans le parenchyme de la moelle et dans le tissu ligneux, réunit entre elles les cellules, et qui est associée aux fibres corticales ; c'est encore elle qui, à la surface des racines et des fruits, se présente souvent sous la forme d'une membrane continue transparente et cornée.

On peut dire d'une manière générale que la vasculose est surtout abondante dans les parties des végétaux qui présentent de la résistance ou de la dureté ; c'est ainsi qu'elle existe en plus grande proportion dans les bois durs que dans les bois tendres; le bois de peuplier n'en contient que 18 p. 100, tandis que nous avons constaté 34 p. 100 de vasculose dans le buis, 35 p. 100 dans l'ébène, 36 p. 100 dans le bois de gaïac, et 40 p. 100 dans le bois de fer : dans les concrétions pierreuses des poires et dans les endocarpes de la noix, de la noisette, de l'abricot, de la pêche et de la noix de coco, nous en avons trouvé souvent plus de 60 p. 100.

La dureté des tissus ligneux avait été attribuée jusqu'à présent à des corps indéterminés, désignés sous le nom de *substances incrustantes*. Nous avons prouvé qu'elle est due principalement à la présence d'une matière bien définie, qui est la *vasculose*, que l'on peut considérer comme une des plus intéressantes de la chimie organique, et dont nous allons faire connaître les principaux caractères.

La vasculose peut être retirée facilement des différents tissus; mais, pour l'obtenir à l'état de pureté, nous employons de préférence la moelle de sureau.

Dans ce but, après avoir épuisé la moelle de sureau par les dissolvants neutres et par les alcalis étendus, nous la faisons bouillir avec l'acide chlorhydrique faible, pour transformer la paracellulose en cellulose : nous faisons agir ensuite le réactif ammoniaco-cuivrique sur le tissu organique, et nous répétons ce traitement huit à dix fois, jusqu'à ce que le tissu ne cède plus rien au réactif cuivrique.

La vasculose, ainsi préparée, conserve toujours une teinte légèrement jaunâtre : examinée au microscope, elle présente l'aspect du tissu primitif ; on pourrait croire que ce tissu, qui a cependant perdu souvent plus de 50 p. 100 de sa substance par la dissolution des corps cellulosiques, n'a éprouvé aucune altération par l'action des réactifs.

La vasculose est insoluble dans tous les dissolvants neutres; elle n'éprouve aucune altération lorsqu'on la fait bouillir dans les acides sulfurique, chlorhy-

drique, phosphorique étendus; elle résiste à l'action de l'acide sulfurique trihydraté; elle n'est pas altérée par les dissolutions alcalines bouillantes; l'acide sulfurique concentré ne la modifie que lentement; il la colore en la déshydratant.

La vasculose est altérée rapidement par tous les agents d'oxydation, tels que l'acide nitrique, l'acide chromique, le permanganate de potasse, le chlore, les hypochlorites, le brôme, etc. Sous ces influences oxydantes, qui servent à caractériser la vasculose, cette substance produit une série d'acides résineux. Ceux qui se forment en premier lieu ne sont pas sensiblement solubles dans l'alcool; les derniers se dissolvent dans l'alcool, et même dans l'éther.

On peut exprimer d'une manière générale la composition de ces acides en disant qu'ils sont moins hydrogénés que la vasculose et plus oxygénés qu'elle.

L'oxygène atmosphérique paraît, à la longue, agir sur la vasculose et la transformer en acides résineux solubles dans les alcalis; c'est cette altération de la vasculose qui nous a permis d'expliquer la modification que certains bois éprouvent au contact de l'air. En examinant les bois altérés par la pourriture, nous avons reconnu que la proportion normale de vasculose avait diminué d'une manière notable, parce que cette substance s'était transformée en acides résineux, que les alcalis et l'ammoniaque avaient entraînés.

Lorsque la vasculose est soumise à l'action de l'acide nitrique fumant, elle produit des composés nitrés qui rappellent les celluloses nitriques.

Sous l'influence des alcalis, la vasculose éprouve des transformations intéressantes, que nous avons étudiées avec soin.

Nous avons dit que cette substance n'est pas altérée lorsqu'on la fait bouillir avec des dissolutions, même concentrées, de potasse ou de soude : mais elle se dissout rapidement lorsqu'on la chauffe, sous pression, vers 130°, avec des liqueurs alcalines caustiques. Il se forme dans cette action, comme dans celle des oxydants, une série d'acides qui commencent par être insolubles dans l'alcool, mais qui, sous l'influence prolongée des alcalis, deviennent d'abord solubles dans l'alcool et ensuite dans l'éther.

En comparant la composition de quelques-uns de ces acides avec celle de la vasculose, nous avons constaté que, dans la première action des alcalis, la vasculose se changeait en acide résineux par une simple déshydratation ; ensuite la réaction devient plus complexe : la baryte et la chaux agissent sur la vasculose comme sur les alcalis. C'est cette action des dissolutions alcalines sur la vasculose qui est utilisée dans la fabrication du papier de bois et de paille.

Lorsqu'on chauffe la vasculose avec de l'hydrate de potasse fondu, la pression n'est plus nécessaire pour modifier la substance organique, qui se transforme immédiatement en acide ulmique. Ainsi, dans la réaction des alcalis en fusion sur le bois, c'est la vasculose seule qui forme les différents acides ulmiques, tandis que la cellulose produit des acides acétique et oxalique.

Après avoir distingué et caractérisé les deux substances différentes qui constituent le bois, il nous a paru intéressant de rechercher quelle était celle qui, par l'action de la chaleur, produisait l'esprit de bois.

Il est résulté de nos recherches que l'alcool méthylique est particulièrement

engendré par la vasculose. En distillant une faible quantité de vasculose, 100 grammes environ, nous avons obtenu assez d'esprit de bois pour produire nettement, avec de l'acide oxalique, l'oxalate de méthylène cristallisé. C'est également la vasculose qui, dans la distillation du bois, forme la plus grande partie de l'acide acétique.

Les observations que nous avons faites sur l'origine de l'acide acétique et celle de l'esprit de bois sont, du reste, confirmées par la pratique industrielle. En effet, les fabricants d'acide pyroligneux ont reconnu que les bois qui produisent ces deux corps pyrogénés en plus grande quantité sont précisément les bois lourds, qui sont riches en vasculose.

Nous citerons ici les résultats analytiques qui confirment les faits précédents.

Composition de la vasculose de provenances différentes.

	Vasculose de la moelle de sureau.	Vasculose du bois.	Vasculose des vaisseaux.		Théorie.
Carbone	59,34	59,33	59,34	C^{36}	59,341
Hydrogène	5,50	5,49	5,49	H^{20}	5,494
Oxygène	35,16	34,18	35,17	O^{16}	35,165

On voit que la vasculose, par sa composition comme par ses propriétés, s'éloigne de la cellulose, qui contient 44,44 de carbone, 6,18 d'hydrogène et 49,38 d'oxygène.

Vasculose déshydratée par l'acide sulfurique.

			Théorie.
Carbone	62,432	C^{36}	62,428
Hydrogène	5,108	H^{18}	5,202
Oxygène	32,378	O^{16}	32,370

Produits d'oxydation de la vasculose.

	Acide insoluble dans l'alcool.				Acide soluble dans l'alcool.		
			Théorie.				Théorie.
Carbone	55,105	C^{36}	55,102	Carbone	53,200	C^{36}	53,203
Hydrogène	5,080	H^{16}	4,082	Hydrogène	3,445	H^{14}	3,448
Oxygène	40,815	O^{20}	40,816	Oxygène	43,355	O^{22}	43,349

Action de la potasse sur la vasculose.

	Acide insoluble dans l'alcool et l'éther.				Acide soluble dans l'alcool.		
			Théorie.				Théorie.
Carbone	62,424	C^{36}	62,428	Carbone	65,880	C^{36}	65,873
Hydrogène	5,210	H^{18}	5,202	Hydrogène	4,874	H^{16}	4,878
Oxygène	32,366	O^{14}	32,370	Oxygène	29,246	O^{12}	29,269

Acide soluble dans l'éther.

			Théorie.
Carbone	60,00	C^{36}	67,080
Hydrogène	3,104	H^{10}	3,106
Oxygène	29,796	O^{12}	29,813

Tels sont les caractères distinctifs de la substance remarquable qui accompagne souvent les corps cellulosiques dans le tissu des végétaux.

Nos études chimiques sur la vasculose nous permettent de préciser le rôle que ce corps doit jouer dans l'organisation végétale.

La résistance que la vasculose oppose à l'action des réactifs les plus énergiques nous fait penser que cette substance est destinée à souder, à recouvrir, à protéger les cellules et les fibres.

La vasculose présente surtout de l'intérêt au point de vue de l'utilisation des fibres végétales. Nous avons constaté, en effet, qu'un grand nombre de fibres corticales, telles que celles du chanvre, du lin, de la ramie, etc., sont associées à une couche de vasculose dont l'épaisseur, qui est variable, exerce de l'influence sur les phénomènes du rouissage, du blanchiment et aussi sur l'affinité plus ou moins grande de ces fibres pour les matières colorantes.

En enlevant la vasculose par l'action de réactifs convenablement choisis, on ne détruit pas la solidité des fibres, et on leur donne des propriétés nouvelles.

§ 8

CUTOSE

Dans mes premières études sur les tissus des végétaux, j'ai donné le nom de *cutose* à la substance qui constitue la membrane fine et transparente que les parties aériennes des végétaux présentent à leur surface.

J'ai fait connaître les caractères qui établissent une différence bien marquée entre la cutose et les autres substances qui se trouvent dans le squelette des végétaux.

La cutose offre quelques caractères communs avec la vasculose; elle résiste comme elle à l'action de l'acide sulfurique bi-hydraté, mais elle en diffère par sa solubilité, à la pression ordinaire, dans les dissolutions étendues ou carbonatées de potasse et de soude. Elle contient plus d'hydrogène et de carbone que la vasculose; en outre, la cutose, soumise à l'action de l'acide azotique, produit de l'acide subérique, tandis que la vasculose n'en forme pas.

La cutose présente des propriétés chimiques très remarquables que j'ai fait connaître dans un second mémoire que j'ai publié en collaboration avec M. Urbain, et dont je vais donner ici le résumé.

§ 9

LA CUTOSE (2e Mémoire)

Nous venons faire connaître les propriétés et la composition d'une substance remarquable que l'un de nous a désignée, dans un travail précédent, sous le nom de *cutose*, qui recouvre et protège les organes aériens des végétaux, et qui,

en outre, soude et relie entre elles les parties fibreuses des plantes pour en former des faisceaux.

La cutose n'est pas seulement intéressante au point de la physiologie végétale, mais elle présente aussi une importance réelle sous le rapport chimique : elle vient en quelque sorte se placer entre les corps gras et les substances résineuses; la cutose offre même un intérêt industriel, car c'est elle qu'il faut détruire dans les opérations du blanchiment.

Pour obtenir la cutose, nous opérons sur l'épiderme des feuilles : lorsqu'on fait macérer des feuilles dans l'eau, à une température de 30 à 35°, leur parenchyme s'altère, et, au bout de huit à quinze jours, il est possible de séparer mécaniquement, d'une part les fibres et les vaisseaux qui constituent en quelque sorte la charpente de la feuille, et, de l'autre, la membrane épidermique. On peut arriver plus rapidement au même résultat par un procédé chimique qui consiste à plonger, pendant quelques minutes, les feuilles dans de l'acide chlorhydrique bouillant, qui opère facilement la séparation de l'épiderme d'avec les fibres et les vaisseaux.

L'épiderme ainsi obtenu est recouvert de corps gras et résineux qu'on dissout par l'alcool et l'éther; viennent ensuite deux membranes qui sont soudées l'une à l'autre : la première est à base de paracellulose qui devient soluble dans le réactif ammoniaco-cuivrique après l'action des acides, et que l'on sépare ainsi; l'autre est formée de la cutose que l'on obtient facilement à l'état de pureté.

La cutose que nous avons préparée pour nos recherches, provient des feuilles d'agave du jardin d'Antibes, que M. Naudin a bien voulu mettre à notre disposition.

La cutose pure jouit des propriétés suivantes : elle est d'une grande stabilité, car elle résiste à l'action des réactifs énergiques, tels que l'acide sulfurique tri-hydraté, l'acide chlorhydrique et l'ammoniaque.

La cutose est attaquée rapidement par l'acide nitrique et produit, dans ce cas, d'abord des acides résineux et, en dernier lieu, de l'acide subérique. L'intérêt que présente la cutose, au point de vue chimique, résulte des modifications que cette substance éprouve par l'action des alcalis.

Les dissolutions alcalines étendues et les carbonates alcalins ne réagissent que lentement sur la cutose; mais, par une ébullition prolongée, la potasse, la soude, la baryte, la chaux, changent cette substance en deux acides comparables aux acides gras : l'un est solide, nous l'avons nommé *stéaro-cutique;* l'autre est liquide, nous l'appelons *oléo-cutique.*

Cette réaction ne produit pas de corps complémentaire comparable à la glycérine; nous ne l'assimilons donc pas à une saponification.

L'acide stéaro-cutique jouit de propriétés qui rappellent à la fois les caractères des acides gras et ceux des résines : il est blanc, fusible à 76°, presque insoluble dans l'alcool et l'éther froids, peu soluble dans l'alcool bouillant, et faisant prendre la liqueur en gelée par le refroidissement : ses véritables dissolvants sont la benzine et l'acide acétique cristallisable; par l'évaporation de ces liquides, l'acide stéaro-cutique se dépose en aiguilles fines : une fois fondu, il produit un corps résineux très dur et non cristallin.

Les stéarocutates de potasse, de soude et d'ammoniaque, sont à peu près

insolubles dans l'eau ; ils ne se dissolvent que dans l'alcool rendu alcalin. Les stéarocutates peuvent alors cristalliser dans ce liquide.

L'acide stéarocutique présente la composition suivante :

		Théorie.
C = 75,160	C^{60}	75,000
H = 11,683	H^{56}	11,666
O = 13,157	O^{8}	13,334

L'acide oléo-cutique possède les principaux caractères des acides gras liquides ; il a pour composition :

		Théorie.
C = 65,594	C^{28}	65,625
H = 9,540	H^{24}	9,375
O = 24.866	O^{8}	25,001

Les équivalents de ces deux acides ont été déterminés par l'analyse des sels de potasse, de soude et de baryte.

Les deux acides de la cutose peuvent se combiner entre eux, sous l'influence de l'alcool bouillant, et former un acide double qui se dépose par le refroidissement de la liqueur en petits mamelons jaunâtres.

En comparant la composition de la cutose à celle des deux acides qu'elle forme par l'action des alcalis, nous avons reconnu qu'il existait, entre ces différents corps, une relation remarquable.

La cutose extraite par des méthodes différentes présente la composition suivante :

Cutose des feuilles de lierre.

Préparée par le réactif cuivrique.	Préparée par $SO^3,3HO$.
C = 68,424	C = 68,01
H = 9.477	H = 9,80
O = 22,099	O = 22,19

Cutose de feuilles d'agave extraite par macération.

C = 68,293
H = 9,553
O = 22,154

En considérant la cutose comme formée par la combinaison de 5 équivalents d'acide oléo-cutique et de 1 équivalent d'acide stéarocutique, ce qui représente les proportions des deux acides que nous obtenons par la décomposition de la cutose, on arrive à une composition théorique de la cutose qui se rapproche beaucoup de celle que nous avons trouvée par l'expérience.

C = 68,181
H = 10,000
O = 21,819

Les faits qu'il nous reste à faire connaître nous paraissent confirmer les considérations théoriques que nous venons de présenter.

Après avoir reconnu que la cutose n'éprouvait pas de saponification par l'action des alcalis, mais un simple dédoublement, nous avons cherché à reconstituer, par la synthèse, la cutose, en faisant usage des deux acides qui résultent de sa décomposition.

Nos essais étant une fois engagés dans cette voie nous ont donné des résultats très intéressants.

Nous avons constaté en effet que, sous des influences nombreuses, les deux acides stéaro et oléo-cutiques pouvaient éprouver des modifications profondes et se rapprocher de la cutose par leurs propriétés; ils perdent en effet leur solubilité dans l'alcool, dans l'éther et même dans les dissolutions alcalines étendues : l'acide solide dont le point de fusion était d'abord de 76°, ne fond plus qu'à 95°; l'acide liquide devient membraneux et insoluble dans l'alcool et l'éther : en un mot un mélange des deux acides peut prendre les caractères principaux de la cutose et se comporter ensuite comme elle sous l'influence des alcalis.

Cette transformation curieuse des deux acides dérivés de la cutose se produit soit sous l'influence d'une température de 100° prolongée pendant longtemps, soit par l'action de la lumière; elle s'opère aussi facilement dans des tubes scellés que dans l'air; ce qui démontre que cette transformation est réellement isomérique.

Nous avons du reste reconnu par l'analyse que les deux acides, pris sous leurs deux modifications, présentent la même composition.

Nous devons dire qu'il existe toujours dans la cuticule des feuilles une certaine quantité de chaux et de phosphate de chaux.

Le fait que nous venons de signaler pour les acides de la cutose, c'est-à-dire leur modification isomérique sous l'influence de la chaleur ou de la lumière, doit s'étendre à un certain nombre de corps gras ou résineux : en effet nous avons trouvé à la surface des feuilles un corps résineux soluble dans l'alcool qui présente la composition suivante :

Corps résineux, soluble dans l'alcool, qui recouvre la cuticule des feuilles.

$$C = 69,26$$
$$H = 10\ 89$$
$$O = 19,57$$

En soumettant ce corps à l'action de la chaleur, il perd sa solubilité dans l'alcool et conserve sa composition première, comme le prouve l'analyse que nous citons ici :

$$C = 69,16$$
$$H = 11,17$$
$$O = 19,95$$

Telles sont les principales propriétés chimiques du corps qui constitue la cuticule : cette substance présente une grande importance physiologique, car elle ne se trouve pas seulement à la surface des feuilles, des fleurs, des fruits et des tiges, mais elle pénètre souvent dans l'intérieur des organes : nous avons trouvé jusqu'à 43 pour 100 de cutose dans le liège : il existe aussi des quantités notables de ce corps dans les faisceaux fibreux du chanvre, du lin et de la

ramie. Les opérations du blanchiment ont pour but principal l'élimination de la cutose.

Connaissant les caractères de la cutose, nous pouvons aborder actuellement les questions qui intéressent les fibres textiles.

§ 10

FIBRES ET FAISCEAUX FIBREUX — ROUISSAGE CHIMIQUE

Les substances fibreuses des végétaux peuvent affecter deux états différents; elles forment, soit les fibres, soit les faisceaux fibreux.

Les fibres représentent la cellulose filamenteuse dans un état de grande ténuité et de pureté remarquable.

Les faisceaux fibreux sont produits par plusieurs fibres réunies entre elles par un ciment végétal.

Quelle est la composition chimique des fibres et celle du ciment végétal qui relie les fibres en faisceaux? comment peut-on isoler les substances filamenteuses du tissu des végétaux et les obtenir à l'état de pureté?

Tels sont les points que nous avons voulu traiter dans cette partie de nos recherches sur le squelette des végétaux; tout le monde comprend leur importance, car elles se rapportent au rouissage et au blanchiment, c'est-à-dire au principal emploi des fibres végétales dans l'industrie.

Ces questions ne pouvaient être abordées par nous qu'à la fin de nos recherches sur les tissus végétaux; car pour être résolues elles exigeaient une étude complète de tous les corps qui constituent le squelette des plantes, tels que la pectose, l'acide pectique et ses dérivés, la cutose, la vasculose et les substances cellulosiques considérées sous leurs différents états isomériques.

C'est le rouissage qui nous a occupé d'abord. Le rouissage est, comme on le sait, l'opération qui a pour but de mettre en liberté, par une fermentation putride, les faisceaux fibreux qui existent dans les écorces de lin et de chanvre.

Les beaux travaux de MM. Van Tieghem et Kolb ont jeté une grande lumière sur la théorie du rouissage. M. Van Tieghen a démontré, en effet, que dans le rouissage, les amylobactères dévorent, en se développant, le tissu cellulosique qui retient les faisceaux fibreux et les met en liberté.

M. Kolb a prouvé, en outre, que dans le rouissage, il se produisait cette fermentation que l'un de nous a découverte et qu'il a décrite sous le nom de *fermentation pectique*. M. Kolb a retrouvé dans les eaux du rouissage des quantités considérables d'acide métapectique qui dérive de la pectose, comme nous l'avons démontré dans nos anciens travaux sur les matières gélatineuses des végétaux.

Qu'avons-nous ajouté, dans notre travail, à ces données déjà si précieuses sur la théorie du rouissage?

Dans la mise en liberté des faisceaux fibreux, nous avons fait jouer un rôle

aux deux substances ligneuses, que nous avons étudiées dans nos mémoires précédents sous les noms de cutose et de vasculose.

Il résulte en effet de nos recherches que les faisceaux fibreux du lin, du chanvre, de la ramie, du jute, etc., ne sont pas seulement formés par les corps cellulosiques, mais qu'ils contiennent souvent une certaine quantité de pectose, de cutose et de vasculose.

Ce point étant une fois établi, nous avons démontré qu'on arrivait à une purification complète des faisceaux fibreux, en faisant usage des réactifs qui désagrègent ou dissolvent non seulement la cellulose et la pectose, mais aussi la vasculose et la cutose : ces réactifs sont nombreux, mais ceux qui nous ont donné les meilleurs résultats sont les alcalis caustiques ou carbonatés employés tantôt à la pression ordinaire, tantôt sous pression et à des températures qui varient avec la nature des faisceaux fibreux que l'on veut extraire.

En nous guidant sur les observations précédentes, nous proposerons aux industriels un *rouissage chimique* qui, selon nous, doit remplacer avec avantage le rouissage ordinaire basé sur la fermentation putride : cette opération peut, comme on le sait, compromettre la santé des ouvriers et altérer souvent la qualité des fibres.

Notre rouissage chimique est donc une opération qui a pour effet de transformer la pectose en acide métapectique, la cutose et la vasculose en acides résineux solubles dans les alcalis. Lorsque ces trois corps sont enlevés, les faisceaux fibreux se détachent avec une grande facilité par le teillage.

Après avoir étudié les conditions qui permettent d'opérer le rouissage par des procédés chimiques, nous avons abordé une autre question qui se rapporte à la désagrégation des faisceaux fibreux et leur transformation en fibres pures et blanches.

Les réactions que nous allons décrire sont fondées sur la dissolution du ciment végétal qui relie entre elles les fibres dans les faisceaux.

Ce ciment est assez complexe; il a pour base principale un composé pectique, comme M. Kolb l'a démontré, mais il contient aussi une certaine quantité de cutose et de vasculose : ce sont ces deux dernières substances qui donnent aux faisceaux leur coloration et leur rigidité.

L'analyse des faisceaux fibreux devait nous guider dans les méthodes à suivre pour opérer leur désagrégation.

Les procédés d'analyse que nous avons décrits précédemment nous permettaient de déterminer la composition exacte des faisceaux fibreux qui constituent le chanvre et le lin, et aussi d'apprécier avec exactitude sous quel état s'y trouve le composé pectique signalé par M. Kolb.

Il est résulté de nos recherches que dans le lin et le chanvre, le composé pectique existe non seulement sous la forme d'acide pectique, mais aussi à l'état de pectose ; pour démontrer, dans les faisceaux, l'existence de la pectose, nous traitons le lin ou le chanvre par l'acide chlorhydrique très faible, qui change la pectose en pectine soluble dans l'eau ; nous précipitons cette substance par l'alcool et nous la transformons ensuite en pectates par l'action des alcalis.

Les faisceaux fibreux du lin et du chanvre nous ont présenté la composition suivante :

Lin.	
Corps solubles dans l'eau et dans l'alcool	5,00
Cutose	3,84
Composés pectiques	18,59
Vasculose	0.18
Cellulose et paracellulose	72,39

Chanvre.	
Corps solubles dans l'eau et dans l'alcool	6,40
Chaux	0.35
Cutose	3,20
Composés pectiques	10,30
Vasculose	0.40
Cellulose et paracellulose	79,35

Ces analyses démontrent que pour transformer les faisceaux de l'écorce en fibres, il faut donc opérer la dissolution de la pectose, de la cutose et de la vasculose.

On sait avec quelle facilité la pectose se change en acide métapectique par l'action des carbonates alcalins ; c'est donc cet agent que nous employons pour retirer la pectose et l'acide pectique contenus dans les faisceaux fibreux.

Quant à l'élimination de la cutose et de la vasculose, nous pouvons la réaliser par deux méthodes différentes : nous avons démontré, en effet, que la cutose se dissout à chaud et à la pression ordinaire, soit dans les dissolutions étendues de soude caustique, soit dans les liqueurs concentrées de carbonate de soude ; la vasculose est attaquée, sous pression, par la soude étendue ou par les carbonates alcalins. La cutose et la vasculose peuvent donc être enlevées en faisant agir, sous pression, le carbonate de soude sur les faisceaux fibreux.

La seconde méthode consiste à soumettre les faisceaux fibreux à l'action des oxydants, qui changent la cutose et la vasculose en résines solubles dans les alcalis. Les oxydants que l'on peut employer dans ce but sont le chlore, les hypochlorites, l'eau oxygénée, l'acide nitrique, le permanganate de potasse, etc.

Il est intéressant de rappeler ici que ce procédé de purification des fibres par l'action des oxydants et celle des alcalis, avait été très nettement indiqué par Berthollet, qui ne connaissait cependant ni la cutose ni la vasculose. Le grand chimiste avait reconnu que la gomme du chanvre et du lin, qui était insoluble dans les alcalis, devenait soluble dans cet agent chimique après l'action du chlore.

Lorsque les faisceaux fibreux ont été soumis aux différents traitements qui dissolvent la pectose, la cutose et la vasculose, ils produisent alors des fibres d'une blancheur parfaite, qui se dissolvent immédiatement dans l'acide sulfurique concentré, sans colorer la liqueur et sans laisser de résidu.

Mais ce qui caractérise surtout les fibres arrivées à un état complet de pureté, c'est leur aspect soyeux, que l'on n'observe ni dans le lin ni dans le chanvre ordinaires. Ces fibres ainsi préparées constituent pour l'industrie une matière nouvelle qui ressemble à la soie et qui prend la teinture comme elle. Pour la distinguer du lin et du chanvre, nous la désignons sous le nom de *fibrisoie*. Si, comme nous le pensons, cette substance rend un jour des services à l'industrie, nous serons heureux de constater, une fois de plus, que des recherches chimiques entreprises dans un but purement scientifique peuvent conduire à des résultats intéressants pour la pratique.

§ 11

MÉTHODE GÉNÉRALE D'ANALYSE DU TISSU DES VÉGÉTAUX

L'analyse immédiate des tissus des végétaux présentait une difficulté que tous les chimistes comprendront; elle avait, en effet, pour but de déterminer la composition d'un tissu qui est composé d'éléments insolubles dans les dissolvants neutres, et de continuer son analyse au delà du point où d'habitude elle s'arrête et devient impuissante, faute de méthodes certaines pour les séparations et les dosages des corps insolubles.

Cependant, en faisant usage avec mesure de quelques réactifs énergiques, j'ai été assez heureux pour résoudre la question que je m'étais proposée, et j'affirme que, si un botaniste veut bien soumettre à mon examen le végétal le plus complexe, je déterminerai facilement sa composition, et j'isolerai les principes qui le composent : en un mot, je ferai l'analyse immédiate d'un tissu, tel que celui qui constitue le bois, comme, en chimie minérale, nous faisons l'analyse d'un minerai.

Tout le monde comprend l'importance de cette question d'analyse chimique qui intéresse à la fois l'anatomie végétale, la chimie pure et ses applications industrielles : lorsque, en effet, la composition du squelette des végétaux sera bien connue, on pourra suivre l'apparition et le développement des principes qui le constituent; il sera facile alors d'apprécier leurs transformations ou le rôle qu'ils jouent dans la végétation et même de guider les différentes industries qui utilisent les fibres des végétaux.

L'analyse chimique des tissus doit également venir en aide aux botanistes qui s'occupent d'anatomie végétale; on sait aujourd'hui que les déterminations microscopiques seraient absolument insuffisantes si elles n'étaient pas contrôlées par l'étude des caractères chimiques qui appartiennent aux éléments constituants de ces tissus; l'observateur qui négligerait dans ce cas les enseignements que la chimie peut lui donner s'exposerait aux plus graves erreurs.

Avant de doser les corps divers qui forment le tissu végétal, j'ai dû les isoler d'abord à l'état de pureté et déterminer leurs caractères.

Il est résulté de ces recherches d'analyse qualitative que les principaux tissus des végétaux, après leur épuisement par les dissolvants neutres, sont constitués par l'*association organique* des corps suivants :

1° Les corps cellulosiques (cellulose, paracellulose, métacellulose).
2° La vasculose.
3° La cutose.
4° La pectose.
5° Le pectate de chaux.
6° Les substances azotées.
7° Les matières minérales diverses.

Ce premier point étant établi, je me suis appuyé, dans la détermination ana-

lytique de chacun de ces éléments des tissus végétaux, sur leurs propriétés générales que j'avais constatées précédemment et que je rappellerai ici.

Corps cellulosiques. — Je fais rentrer dans ce groupe les éléments du tissu des végétaux qui se dissolvent sans coloration dans l'acide sulfurique bi-hydraté, en produisant de la dextrine et du sucre, qui ne sont pas sensiblement altérés par les dissolutions alcalines et qui résistent pendant longtemps à l'action des oxydants énergiques.

Le réactif de Schweitzer, c'est-à-dire le composé ammoniaco-cuivrique bien connu des chimistes, m'a permis de distinguer, parmi les corps cellulosiques, au moins trois variétés différentes, que je désignerai sous des noms particuliers pour éviter toute confusion.

1° *La cellulose.* — Je conserve ce nom, donné par Payen, au corps cellulosique qui se dissout immédiatement dans le réactif cuivrique; il constitue en grande partie les poils de la graine du cotonnier et le tissu utriculaire de certains fruits.

2° *La paracellulose.* — Ce corps cellulosique ne se dissout dans le réactif cuivrique qu'après l'action des acides; c'est lui qui forme les tissus utriculaires de certaines racines et les cellules épidermiques des feuilles.

3° *La métacellulose.* — Cette variété de corps cellulosiques est insoluble dans le réactif cuivrique, même après l'action des acides : elle se rencontre principalement dans les tissus des champignons et des lichens : c'est la *fungine* de Braconnot.

Dans l'analyse du tissu des végétaux, pour déterminer la première variété de cellulose, je fais usage directement du réactif cuivrique : pour apprécier la seconde, le réactif cuivrique n'est employé qu'après l'action des acides; quant à la métacellulose, je la caractérise par son insolubilité dans le réactif cuivrique.

Lorsque je veux apprécier, dans un tissu végétal, la proportion totale de corps cellulosiques, sans distinguer les unes des autres leurs différentes variétés, je traite immédiatement le tissu par l'acide sulfurique bi-hydraté qui opère leur dissolution.

La vasculose. — J'ai désigné sous ce nom la substance qui constitue en grande partie les vaisseaux et les trachées. La vasculose accompagne ordinairement, dans les tissus des végétaux, les corps cellulosiques, mais elle en diffère complètement par sa composition et ses propriétés. Elle contient plus de carbone et moins d'hydrogène que la cellulose; c'est elle qui, dans les tissus végétaux, soude et réunit souvent les cellules et les fibres. Elle se présente quelquefois à l'extérieur des tissus, sous la forme d'une membrane résistante, continue et cornée.

On peut dire que c'est la vasculose qui forme la partie lourde des tissus ligneux. Elle est abondante dans les bois durs et dans les concrétions pierreuses des poires; les coquilles de noix et de noisettes, les noyaux d'abricots en contiennent souvent plus de la moitié de leur poids.

La vasculose est insoluble dans l'acide sulfurique bi-hydraté et dans le réactif cuivrique : elle ne se dissout pas à la pression ordinaire, dans les dissolutions alcalines, mais elle entre en dissolution dans ces mêmes liqueurs alcalines, lorsqu'on fait agir la pression. Cette propriété importante est utilisée dans la

fabrication du papier de paille et de bois. La vasculose se dissout rapidement dans les corps oxydants, tels que l'eau de chlore, les hypochlorites, l'acide azotique, l'acide chromique, les permanganates, etc. Les oxydants, avant de dissoudre la vasculose, la changent en un acide résineux soluble dans les alcalis.

C'est sur l'ensemble de ces propriétés que j'ai basé la détermination analytique de la vasculose.

Lorsque, dans l'analyse d'un tissu végétal complexe, je veux séparer la vasculose d'avec les corps cellulosiques, j'ai recours à l'acide sulfurique bi-hydraté, qui ne dissout que les corps cellulosiques et laisse la vasculose à l'état insoluble. Le réactif cuivrique exerce la même action.

Lorsqu'au contraire je veux dissoudre la vasculose et doser directement les corps cellulosiques, je soumets, à froid, pendant plusieurs heures, le tissu organique à l'action de l'acide azotique étendu de son volume d'eau, qui n'agit pas d'une manière sensible sur les corps cellulosiques, tandis qu'il transforme la vasculose en acide résineux jaune, soluble dans les alcalis. Je reprends alors le tissu par une dissolution alcaline qui dissout l'acide jaune que l'acide azotique a produit, et qui laisse les corps cellulosiques à l'état de pureté.

La cutose. — J'ai donné ce nom à la substance qui constitue la membrane fine et transparente que les parties aériennes des végétaux présentent à leur surface : c'est l'association de la cutose et de la vasculose qui forme ce tissu que M. Chevreul a décrit sous le nom de *subérine*.

La cutose présente quelques caractères communs avec la vasculose : elle résiste comme elle à l'action de l'acide sulfurique bi-hydraté; mais elle en diffère par sa solubilité, à la pression ordinaire, dans les dissolutions étendues ou carbonatées de potasse et de soude. Elle contient plus d'hydrogène et de carbone que la vasculose. En outre, la cutose soumise à l'action de l'acide azotique produit de l'acide subérique, comme je l'ai constaté avec M. Urbain; cette propriété n'appartient pas à la vasculose.

Dans le dosage de la cutose ou dans sa séparation d'avec les corps cellulosiques et d'avec la vasculose, je fais usage d'abord du réactif cuivrique et ensuite de la potasse, agissant à la pression ordinaire et ensuite sous-pression; le premier réactif dissout les corps cellulosiques, le second attaque la cutose, et le dernier opère la dissolution de la vasculose.

La pectose. — Ce corps est celui que j'ai fait connaître dans des mémoires précédents; il est insoluble dans l'eau, mais il devient soluble et se transforme en *pectine*, par l'action des acides étendus.

Pour reconnaître et même pour doser la pectose qui se trouve ordinairement dans les tissus utriculaires des fruits et des racines, il suffit de soumettre, à chaud, le tissu organique à l'action de l'acide chlorhydrique étendu; il se forme alors de la pectine qui entre en dissolution dans l'eau et que l'on peut précipiter par l'alcool.

Le pectate de chaux. — Ce sel est souvent la base d'un tissu qui se présente sous la forme d'une membrane continue servant, comme dans la moelle de certains arbres, à relier les cellules entre elles : ce qui le prouve, c'est qu'en décomposant, par un acide, ce pectate de chaux, le tissu se désagrège immédiatement et les cellules sont mises en liberté.

Pour déterminer le pectate de chaux contenu dans les tissus des végétaux, je les traite à froid, par l'acide chlorhydrique étendu, qui décompose le pectate de chaux, dissout la chaux et laisse l'acide pectique à l'état insoluble; le résidu est repris par une dissolution étendue de potasse qui forme un pectate soluble que l'on décompose ensuite par les acides.

Quant AUX CORPS AZOTÉS et AUX SUBSTANCES INORGANIQUES qui se trouvent dans les tissus, je n'insiste pas ici sur leur dosage, parce qu'il se fait par les méthodes ordinaires. Les corps azotés sont dissous dans les alcalis; les substances inorganiques se trouvent dans les cendres après la calcination.

Telle est la marche à suivre dans l'analyse du tissu des végétaux; je la résumerai en l'appliquant à l'analyse du tissu végétal le plus complexe, qui est le tissu ligneux dans lequel on peut rencontrer à la fois les corps cellulosiques, la vasculose, la cutose, la pectose et le pectate de chaux; on reconnaîtra que quelques réactifs suffisent pour isoler ces différents principes immédiats, et que ces réactifs sont précisément ceux qui servent dans l'analyse minérale.

L'acide chlorhydrique étendu et froid décompose le pectate de chaux et met en liberté l'acide pectique, que l'on peut doser alors facilement au moyen des alcalis.

L'acide chlorhydrique étendu et bouillant transforme la pectose en pectine que l'on précipite par l'alcool.

Le réactif ammoniaco-cuivrique dissout la cellulose.

L'acide chlorhydrique bouillant rend la paracellulose soluble dans le réactif cuivrique.

L'acide sulfurique bihydraté dissout les corps cellulosiques.

La potasse étendue et bouillante dissout la cutose.

La potasse sous pression opère la dissolution de la vasculose.

L'acide azotique étendu rend la vasculose soluble dans les dissolutions alcalines.

Cette méthode d'analyse étant trouvée, il s'agissait de l'appliquer à l'étude des différents organes qui constituent les végétaux.

§ 12

COMPOSITION CHIMIQUE DU SQUELETTE DES VÉGÉTAUX

Le but de ce travail, que j'ai publié en collaboration avec M. Urbain, est de montrer comment on peut se servir de la méthode analytique que je viens de décrire, pour isoler, à l'état de pureté, les différents éléments qui constituent les tissus des végétaux, pour les caractériser nettement, et même pour en déterminer les proportions avec quelque exactitude.

Les corps qui forment le squelette des végétaux sont principalement, comme je l'ai dit, *la pectose* et *ses dérivés*, *les substances cellulosiques sous leurs différents états isomériques*, *la cutose* et *la vasculose*.

Avant toute détermination analytique, nous épuisons d'abord les tissus par les dissolvants neutres.

Pour doser la pectose, nous la transformons en pectates par l'action des carbonates alcalins, et nous décomposons ces pectates par l'acide chlorydrique, qui précipite l'acide pectique gélatineux et insoluble.

Parmi les substances cellulosiques qui se trouvent dans les tissus des végétaux, nous avons distingué *la cellulose*, *la paracellulose* et *la métacellulose.*

Ces corps cellulosiques présentent un caractère commun : c'est leur solubilité, sans coloration, dans l'acide sulfurique concentré; leurs propriétés distinctes sont les suivantes :

La cellulose se dissout immédiatement dans le réactif ammoniaco-cuivrique.

La paracellulose ne se dissout dans le réactif cuivrique qu'après l'action des acides.

La métacellulose résiste à l'influence du réactif cuivrique, même après l'action des acides; en outre, l'acide azotique et les hypochlorites la dissolvent rapidement.

Ces caractères nous ont permis de reconnaître et de doser les corps cellulosiques.

La vasculose est la substance qui forme la partie principale des vaisseaux ; elle accompagne presque toujours les corps cellulosiques; elle lie entre elles les fibres et les cellules; ses caractères analytiques sont nets et ne permettent pas de la confondre avec les substances cellulosiques : elle est insoluble dans le réactif ammoniaco-cuivrique, même après l'action des acides; elle résiste pendant longtemps à l'acide sulfurique concentré; elle est attaquée rapidement par le chlore, par les hypochlorites et par les oxydants, tels que l'acide azotique, l'acide chromique, le permanganate de potasse, etc. La vasculose produit, sous ces différentes influences, des acides résineux solubles dans les alcalis, et peut ainsi être séparée des corps cellulosiques : les alcalis caustiques agissent à chaud et sous pression sur la vasculose et la dissolvent; c'est par cette méthode qu'on prépare aujourd'hui de la pâte à papier, en enlevant la vasculose qui existe dans le bois et dans la paille, au moyen de la sonde caustique.

La cutose (1) est cette membrane transparente qui recouvre les organes aériens des végétaux : elle n'est dissoute ni par l'acide sulfurique concentré ni par le réactif cuivrique; elle est attaquée par tous les agents d'oxydation, et pourrait être, sous ce rapport, confondue avec la vasculose; mais l'action des alcalis caustiques établit une différence marquée entre ces deux substances. Tandis que la vasculose n'est attaquée par les alcalis caustiques que lorsqu'ils agissent à chaud et sous pression, la cutose se dissout rapidement, à la pression ordinaire, dans les dissolutions alcalines étendues.

Les caractères que nous venons de rappeler nous ont permis de doser les principes qui constituent les tissus des végétaux, et d'obtenir les résultats analytiques que nous allons faire connaître.

Nos analyses ont porté sur *les tiges*, *les racines*, *les feuilles*, *les fruits* et *les graines.*

---

(1) Nous avons préparé la cutose qui nous était utile pour nos recherches, en opérant sur les feuilles d'agave que notre savant confrère, M. Naudin, nous a envoyées, et qu'il a trouvées en abondance dans son beau jardin d'Antibes, qu'il cultive, comme on le sait, avec tant de profit pour la science.

Analyse des tiges.

Dans les tiges, nous avons analysé séparément le bois, le parenchyme de la moelle et l'enveloppe subéreuse.

Bois.

	Vasculose.	Vasculose et paracellulose.
Peuplier	18	64
Chêne	28	53
Buis	34	28
Ébène	35	20
Gaïac	36	21
Bois de fer	40	27

Ces analyses démontrent que, dans les bois, la proportion de vasculose augmente avec leur dureté et leur densité.

Quant aux proportions relatives de cellulose et de paracellulose, elles sont variables dans les tiges : le bois de sapin paraît être exclusivement formé de paracellulose et de vasculose.

Parenchyme de la moelle.

Moelle de sureau	Cellulose	37
	Paracellulose	38
	Vasculose	25

Le parenchyme de la moelle contient souvent, comme M. Maudet l'a prouvé, des quantités considérables de pectose et de pectate de chaux.

Enveloppe subéreuse. — Ce tissu est plus complexe que les précédents. On sait que M. Chevreul, dans ses beaux travaux sur le liège, a démontré que ce tissu contenait un corps particulier, qu'il a désigné sous le nom de *subérine*.

Liège ordinaire.	Matières solubles dans les acides et dans les alcalis	5	
	Cutose	43	Subérine de M. Chevreul.
	Vasculose	29	
	Cellulose et paracellulose	12	

Analyse des racines.

Nous donnons ici, comme exemple, l'analyse de la racine de paulownia.

Suber.		*Liber mou.*		*Corps de la racine.*	
Corps solubles dans l'eau et dans les alcalis	45	Matières solubles dans l'eau et dans les alcalis	56	Matières solubles dans l'eau et dans les alcalis	47
Vasculose	44	Vasculose	34	Vasculose	17
Paracellulose	4	Paracellulose	4	Paracellulose	30

Analyse des feuilles.

Nous avons analysé séparément, dans les feuilles, le parenchyme, l'enveloppe

épidermique, les fibres et les vaisseaux : nous citerons ici, comme exemple, l'analyse des feuilles de lierre.

Eau et matières solubles dans les dissolvants neutres	707,7
Parenchyme formé de cellulose et de pectose	240,0
Fibres et vaisseaux formés de vasculose et de paracellulose. . . .	17,3
Épiderme formé de cutose et de paracellulose.	35,0

Analyse des pétales de fleurs.

Les pétales de fleurs sont constitués, au point de vue chimique, comme les feuilles : ils sont enveloppés par un épiderme formé de cutose et de paracellulose; leur tissu utriculaire est constitué par la cellulose; leurs trachées dédoublables sont formées presque exclusivement par la vasculose.

Nous citerons l'analyse des pétales de Dahlia.

Eau et matières solubles	961,30
Parenchyme formé de cellulose et de pectose	31,63
Vasculose	1,20
Paracellulose.	2,27
Cutose	3,60

Analyse des fruits.

Dans l'analyse des fruits, nous avons examiné séparément l'épicarpe, l'endocarpe, le mésocarpe et la graine.

Epicarpe. — La membrane qui recouvre la plupart des fruits, tels que les pommes et les poires, présente une composition assez complexe ; elle est formée de trois membranes superposées; celle qui est extérieure est constituée par la cutose ; la seconde est produite par la vasculose; la troisième est à base de paracellulose.

Endocarpe. — Cette partie du fruit est constituée à peu près comme le bois; on y trouve la cellulose unie à la paracellulose et à la vasculose. Dans l'endocarpe d'un grand nombre de fruits, la vasculose entre pour plus de la moitié du poids total : la dureté de ce tissu est d'autant plus grande que la proportion de vasculose est plus forte.

Nous donnons ici l'analyse de quelques-uns de ces tissus :

	Vasculose.	Cellulose et paracellulose.
Coquilles de noix	44	25
Coquilles de noisettes.	50	31
Noix de coco	58	25
Noyaux d'abricots.	60	26
Noix do Bankoul	62	14

Mésocarpe. — Les cellules du mésocarpe des fruits, telles que celles des pommes et des poires, sont formées par de la cellulose qui est souvent associée à la pectose.

Les vaisseaux et les trachées du mésocarpe ont pour base principale la vasculose.

Les concrétions pierreuses qui se rencontrent dans le mésocarpe de certaines poires sont formées par un mélange de vasculose et de cellulose.

Tissu des graines.

Le *périsperme* des graines, lorsqu'on l'a débarrassé de l'amidon, des matières azotées et des corps gras qu'il contient, est constitué presque exclusivement par de la cellulose.

Le *testa* est formé par un mélange de cutose, de cellulose et de paracellulose qui produit une série d'enveloppes résistantes et cornées.

Tissu des champignons.

Nous avons trouvé des quantités considérables de métacellulose dans les tissus des champignons et dans ceux de plusieurs sortes de pénicillium ; cette substance forme en grande partie la fungine de Braconnot.

Tel est le résumé de nos recherches analytiques sur la composition des principaux tissus qui constituent le squelette des végétaux.

Qu'il nous soit permis de dire, en terminant, pourquoi nous avons consacré un temps fort long à ces études d'analyse immédiate, qui sont toujours arides, comme le savent les chimistes.

Nous avons pensé d'abord que les incertitudes qui régnaient sur la composition chimique du squelette des végétaux constituaient, dans la science, une lacune véritable que les botanistes étaient en droit de nous reprocher.

En effet, des différences ou des analogies bien constatées, dans la constitution chimique des tissus, ne peuvent-elles pas être utiles aux botanistes pour leurs classifications ?

Ainsi il nous a paru intéressant de démontrer que les tissus des champignons et ceux des lichens présentaient la même constitution chimique, et qu'ils contiennent de la métacellulose ; tandis que ces tissus différaient de ceux qui forment des algues, les mousses et les fougères. Ici, les documents chimiques confirment ceux qui sont fournis par l'anatomie végétale.

Entre les mains des botanistes, nos procédés d'analyse seront, nous n'en doutons pas, d'un grand secours pour les études physiologiques.

Les méthodes analytiques que nous proposons, et qui permettent de doser les éléments constitutifs d'un tissu, donneront aussi aux botanistes le moyen de rechercher comment les différentes parties des tissus apparaissent dans la végétation, comment ils se détruisent dans le sol arable pendant la décomposition des engrais, et d'apprécier le rôle qu'ils ont joué dans la formation des combustibles fossiles.

---

§ 13

SUBSTANCES GÉLATINEUSES DES VÉGÉTAUX

A la suite de mes recherches sur les substances ligneuses qui constituent la plus grande partie du squelette des végétaux, je dois placer ici les travaux que j'ai publiés sur les substances gélatineuses qui se trouvent dans les végétaux et qui accompagnent souvent les corps qui ont été étudiés précédemment.

J'ai donné le nom de *substances gélatineuses des végétaux* à une série de corps que l'on peut extraire de la pulpe des fruits, et qui existent également en quantité considérable dans les tiges, les feuilles et les racines des végétaux.

Les substances gélatineuses des végétaux, qui présentent d'abord les propriétés des acides faibles, peuvent, sous l'influence de certains réactifs ou par l'action de ferments spéciaux, éprouver une série de transformations isomériques, et produire finalement des acides d'une certaine énergie, comparables à ceux que l'on trouve dans les fruits.

Ces corps gélatineux entrent quelquefois dans le squelette des végétaux; ils soudent souvent entre elles les cellules de la moelle et les fibres des écorces

Dans les faisceaux fibreux du lin, du chanvre, de la ramie, etc., le ciment qui relie les fibres entre elles est principalement formé par la pectose.

L'importance, à la fois physiologique et chimique, des substances gélatineuses des végétaux, justifiera, je l'espère, les détails assez longs que je vais donner sur leurs principales propriétés.

Pectose.

J'ai désigné, sous le nom de *pectose*, une substance insoluble dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther, qui accompagne presque constamment les corps cellulosiques dans le tissu des végétaux.

La pectose existe principalement dans les pulpes des fruits verts et dans celles de certaines racines, telles que les carottes, les navets, les betteraves : on la trouve également dans les faisceaux fibreux des écorces.

Cette substance, étant entièrement insoluble dans l'eau et altérable par un grand nombre de réactifs, n'a pu être séparée de la cellulose. Elle présente la propriété caractéristique de se transformer, sous l'influence simultanée des acides et de la chaleur, en un corps soluble dans l'eau, qui est la *pectine*. L'acide acétique est peut-être le seul acide énergique qui n'exerce pas d'action sensible sur la pectose.

Avant d'admettre dans les végétaux l'existence d'un principe immédiat nouveau, la pectose, je devais m'assurer que ce corps n'était pas une combinaison insoluble de pectine avec la chaux ou avec le phosphate calcaire; les expériences suivantes ne me paraissent laisser aucun doute à cet égard :

1° J'ai reconnu que, dans aucun cas, la pectine ne pouvait former de composé

insoluble avec la chaux ou les sels calcaires, sans éprouver une modification complète.

2° J'ai mis des pulpes de fruits et des racines en digestion pendant plusieurs jours avec de l'acide chlorhydrique concentré : si la pectine eût préexisté dans les pulpes à l'état de sel insoluble, elle eût été isolée par l'acide chlorhydrique, et se serait trouvée dans la liqueur; je me suis assuré, en effet, que toute combinaison de pectine avec les bases était décomposée instantanément et à froid par les acides : or, après avoir laissé le contact des pulpes et de l'eau acide se prolonger pendant longtemps, je n'ai retrouvé dans la liqueur que des traces insignifiantes de pectine; tandis qu'une ébullition de quelques instants avec une eau légèrement acide a suffi pour transformer en pectine la pectose qui n'avait pas été altérée par l'acide chlorhydrique froid et concentré.

J'ai donc dû admettre l'existence d'un principe immédiat insoluble existant dans le tissu des végétaux, et pouvant se changer en pectine par l'action des acides. Du reste, la pectose peut rendre compte de quelques propriétés qui appartiennent a la pulpe des fruits ou des racines : c'est la pectose qui, en se combinant à la chaux contenue à l'état de sel dans certaines eaux, durcit les racines pendant leur cuisson; c'est elle encore qui donne aux fruits verts leur dureté, et qui se change en pectine pendant la cuisson ou la maturation des fruits.

La pectose ne peut être confondue avec la substance qui constitue les cellules végétales : je me suis assuré qu'il suffit d'une ébullition de quelques secondes pour changer en pectine toute la pectose contenue dans les pulpes de racines ou de fruits, tandis que la cellulose, comme l'avait parfaitement établi Payen, ne donne pas de traces de pectine par l'action des acides. On ne peut donc pas supposer qu'une cellule végétale est formée par une substance solide qui se trouve à différents états d'agrégation; et que la partie externe ayant la même composition que la partie interne peut, à la longue, se transformer en pectine sous l'influence des acides. Toutes les expériences que j'ai faites, et les analyses que je citerai plus loin, tendent, au contraire, à démontrer qu'il n'existe aucune analogie de propriétés et de composition entre la cellulose et la substance qui produit la pectine, et que par conséquent la pulpe des fruits contient deux substances solides essentiellement diffrentes.

Pectine.

La pectine, dont on doit la découverte à M. Braconnot, ne se trouve toute formée que dans les fruits qui sont dans un état de maturation avancée. Elle prend naissance quand les fruits sont soumis à l'influence de la chaleur; sa formation est due alors à l'action des acides citrique et malique qui, en réagissant sur la pectose, la transforment en pectine Pour s'en assurer, il suffit d'exprimer la pulpe d'une pomme verte et d'en extraire le jus : le liquide que l'on retire ne contient pas de traces de pectine ; mais si on le fait bouillir pendant quelques instants avec les pulpes du fruit, on voit bientôt la pectine apparaître.

et donner à la liqueur une viscosité qui caractérise le jus de presque tous les fruits cuits.

La pectine peut encore se former par l'ébullition des pulpes de carottes ou de navets avec une liqueur faiblement acidulée.

Si l'on parvient aisément à engendrer la pectine, il est très difficile d'obtenir cette substance dans un état de pureté absolue.

En effet, la pectine est facilement altérée par les agents que l'on pourrait employer pour la purifier ; et, de plus, elle se trouve en général mélangée avec des corps étrangers dont la séparation présente de grandes difficultés.

Pour isoler la pectine, je la précipite de sa dissolution aqueuse par l'alcool ; la pectine, ainsi précipitée, contient souvent de la dextrine, du malate de chaux, une substance albumineuse, une combinaison d'acide pectique et de sels ammoniacaux, précipitable comme elle par l'alcool ; et, de plus, si, dans la préparation de la pectine, on a employé des acides sulfurique ou oxalique, il se forme de véritables combinaisons de pectine et d'acides, qui se précipitent en même temps que la pectine.

On comprendra donc facilement que les chimistes qui, pour préparer de la pectine, se sont contentés de faire bouillir un fruit avec de l'eau, et de précipiter ensuite le suc par de l'alcool, ont dû obtenir un produit impur et d'une composition variable : c'est à cette circonstance qu'il faut attribuer les assertions contradictoires qui ont été avancées récemment sur les propriétés et la composition de la pectine.

Pour préparer la pectine, je me suis arrêté au procédé suivant, qui me paraît être le seul qui puisse donner cette substance à l'état de pureté.

Au lieu de produire artificiellement la pectine par l'action d'un acide sur la pectose, je la retire du suc des fruits mûrs ; j'ai reconnu que sa purification était alors plus facile. J'exprime à froid les pulpes de poires très mûres, je filtre ce jus, je précipite la chaux qui s'y trouve au moyen de l'acide oxalique ; la matière albumineuse est également précipitée par une dissolution concentrée de tannin. La liqueur est traitée par l'alcool ; la pectine se précipite en longs filaments gélatineux : elle est lavée à l'alcool, dissoute à froid dans l'eau, et précipitée de nouveau par l'alcool. Cette opération est répétée trois ou quatre fois, jusqu'à ce que les réactifs n'indiquent plus dans la liqueur de sucre ou des acides organiques.

La pectine retient obstinément des traces de substances albumineuses, qui ne deviennent insolubles qu'après trois ou quatre précipitations successives par l'alcool : dans la purification de la pectine, il est indispensable d'éviter l'emploi de l'eau bouillante qui l'altère rapidement.

La pectine que j'ai considérée comme pure, et qui m'a servi dans mes analyses, était complétement incolore ; elle était neutre aux réactifs colorés ; par la calcination, elle laissait un résidu de cendres qui ne dépassait pas 1 centième.

J'ai cherché longtemps une méthode qui me permît de constater la pureté de la pectine ; après de nombreux essais, je me suis arrêté au procédé suivant, qui me paraît présenter quelque certitude : je traite la dissolution de pectine par un excès d'eau de baryte qui forme un précipité insoluble de pectate de baryte ; si la pectine est pure, et si elle ne contient pas de sucre, de dextrine, de malate

de chaux, etc., la liqueur filtrée et évaporée à sec ne doit pas laisser de traces de substances organiques. Les différents échantillons de pectine que j'ai analysés ont toujours été soumis à cette épreuve.

Comme dans ces derniers temps la pectine a été confondue avec d'autres principes immédiats, et principalement avec la gomme et les mucilages, il n'est pas inutile de rappeler ici les caractères de cette substance.

La pectine est blanche, soluble dans l'eau, incristallisable, précipitable par l'alcool en gelée lorsque sa dissolution est étendue, et en longs filaments lorsque la liqueur est concentrée; elle est neutre aux réactifs colorés. Si elle est pure, elle ne doit pas être précipitée par l'acétate neutre de plomb ; elle ne présente ce caractère que lorsqu'elle a été obtenue à froid : ordinairement elle est mélangée à une certaine quantité de *parapectine*, et précipite l'acétate de plomb neutre. Le sous-acétate de plomb forme, dans sa dissolution, un précipité abondant : elle n'exerce aucune action rotatoire sur la lumière polarisée.

Les alcalis ou les bases alcalines terreuses la transforment instantanément en pectates : ces sels, traités par les acides, donnent de l'acide pectique insoluble. Ce caractère est d'une telle netteté, qu'il m'est difficile de comprendre comment plusieurs chimistes ont pu confondre la pectine avec les gommes ou les mucilages, et surtout avec l'acide pectique, qui est insoluble dans l'eau. Il m'est également impossible d'admettre que l'on ait obtenu de la pectine, comme on l'a avancé récemment, en faisant réagir de la soude à 36° sur du ligneux ; car une seule goutte d'une dissolution de soude suffit pour modifier profondément la pectine, et la transformer en pectate.

La pectine peut, sous l'influence d'un ferment particulier que j'ai nommé *pectose*, se changer en un acide gélatineux qui sera décrit plus loin sous le nom d'*acide pectosique*. Les acides la transforment en *acide métapectique*.

Analyse de la pectine.

Toutes les analyses de pectine et celles des autres corps qui seront examinés plus loin ont été faites au moyen de l'oxyde de cuivre fin : après la combustion, on a toujours eu le soin de faire passer dans le tube un courant d'oxygène, jusqu'à ce que les allumettes pussent se rallumer à l'extrémité du tube de Liebig.

On a tenu compte, dans ces analyses, de la petite quantité de cendres laissée par la combustion de la pectine.

	I	II	III
Pectine	0,412	0,360	0,347
Eau	0,204	0,180	0,171
Acide carbonique	0,600	0,522	0,516

Composition en centièmes.

	I	II	III
H	5,49	5,55	5,47
C	39,71	39,51	40,54
O	54,80	53,94	53,99
	100,00	100,00	100,00

Composition équivalente.	Théorie.	
H^{48}	H	5,08
C^{64}	C	40,67
O^{64}	O	54,25
		100,00

En préparant la pectine par différentes méthodes, et surtout en traitant des pulpes de carottes par des acides très faibles, il m'est souvent arrivé d'obtenir une pectine qui jouissait de la propriété de faire prendre l'eau en gelée, tandis que la dissolution de pectine pure est gommeuse, et ne forme jamais de gelée quand on la fait dissoudre dans l'eau. J'avais d'abord pensé que ce corps gélatineux était de la pectose incomplètement désagrégée par les acides; mais, en l'examinant avec plus de soin, j'ai reconnu qu'il était formé par une combinaison d'acide pectique avec les sels ammoniacaux qui prennent naissance dans l'action des acides sur les pulpes de racines; c'est cette combinaison singulière qui se décompose par l'ébullition, devient insoluble dans les liqueurs neutres, et forme constamment une pellicule à la surface des dissolutions de pectine impure que l'on évapore : elle sera décrite lorsque j'examinerai les propriétés de l'acide pectique.

Je ne connais, du reste, aucun moyen de purifier une pectine qui se trouve mélangée à la combinaison d'acide pectique et de sels ammoniacaux. La présence de cette combinaison a été méconnue par les chimistes qui ont examiné la pectine; elle a été en partie la cause des erreurs qui se trouvent consignées dans des mémoires récents. On a avancé que la pectine, qui était d'abord soluble dans une liqueur acide, devenait insoluble quand on l'avait précipitée un certain nombre de fois par l'alcool; on a dit également que la pectine présentait une réaction acide, etc. Toutes ces observations ont été faites sur de la pectine impure.

On ne doit pas oublier que la pectine retirée d'une racine qui contient de l'acide pectique ne peut jamais être obtenue à l'état de pureté; elle est toujours mélangée à de l'acide pectique, qui modifie d'une manière plus ou moins complète ses propriétés fondamentales.

Action de l'eau sur la pectine.

Parapectine. — Si l'on fait bouillir pendant quelques heures une dissolution aqueuse de pectine, celle-ci perd en partie son aspect gommeux, et se transforme en une nouvelle substance que j'ai nommée *parapectine*.

La parapectine est neutre aux réactifs colorés, très soluble dans l'eau et incristallisable, insoluble dans l'alcool qui la précipite en gelée transparente; elle se transforme en pectates par l'action des bases solubles, et présente la plus grande analogie avec la pectine. Toutefois, elle possède un caractère qui suffit pour la distinguer de cette dernière substance; elle précipite l'acétate neutre de plomb, tandis que la pectine ne trouble pas ce réactif. Les chimistes qui se sont occupés de la pectine ont presque toujours opéré sur des mélanges de pectine et de parapectine.

La parapectine prend naissance dans l'action de l'eau bouillante sur la pectine, et se trouve toujours en certaines proportions dans la pectine préparée à chaud.

Composition de la parapectine.

Lorsque la parapectine est désséchée à l'étuve à 100 degrés, elle présente exactement la même composition que la pectine, et peut être représentée par la formule

$$C^{64}H^{48}O^{64}$$

Mais elle perd une certaine quantité d'eau quand on la déssèche à 140 degrés, comme le démontrent les analyses suivantes :

	I		II
Matière	0,484	Matière	0,403
Eau	0,261	Eau	0,201
Acide carbonique	0,475	Acide carbonique	0,626

	Composition en centièmes. I		Composition en centièmes. II
H	5,98	H	5,53
C	41,97	C	42,42
O	52,05	O	52,05
	100,00		100,00

Composition équivalente.	Théorie.	
H^{46}	H	4,97
C^{64}	C	41,48
O^{62}	O	53,55
		100,00

On remarquera ici que la formule que j'adopte pour représenter la parapectine ne s'accorde pas très exactement avec les nombres que j'ai trouvés dans mes analyses. J'ai obtenu plus d'hydrogène et de carbone que n'en contient réellement la parapectine.

Si j'ai adopté la formule précédente, c'est que, dans des analyses exécutées sur les corps incristallisables et laissant par leur combinaison des cendres dont il faut tenir compte, il me paraît impossible de trouver les quantités théoriques de carbone et d'hydrogène, et que, du reste, la parapectine est presque toujours mélangée à une petite quantité de substance albumineuse qui contient plus d'hydrogène et de carbone qu'elle. Pour m'en assurer, j'ai soumis la parapectine à des purifications successives, en ayant recours à une ébullition prolongée, à l'emploi du tannin et du sous-acétate de plomb; ce dernier réactif, employé en très petite quantité, n'altère pas la parapectine, et détermine, au contraire, la séparation de la substance albumineuse. J'ai reconnu qu'à mesure que la parapectine se purifiait, sa composition se rapprochait de la théorie : c'est ce qu'indiquent les analyses suivantes, qui ont été faites sur une parapectine soumise à trois purifications successives :

I		II		III	
Matière	0,484	Matière	0,412	Matière	0,425
Eau	0,236	Eau	0,211	Eau	0,210
Acide carbonique	0,777	Acide carbonique	0,648	Acide carbonique	0,647

I		II		III	
Composition en centièmes.		Composition en centièmes.		Composition en centièmes.	
H	5,41	H	5,68	H	5,48
C	43,77	C	42,88	C	41,51
O	50,82	O	51.44	O	53,01

Capacité de saturation de la parapectine.

La capacité de saturation de la parapectine est difficile à déterminer exactement, parce que cette substance forme avec les bases, et principalement avec l'oxyde de plomb, des sels qui contiennent soit 1 équivalent, soit 2 équivalents de base.

Parapectinate de plomb	0,343
Oxyde de plomb	0,041

D'où 1,19 pour 10 d'oxyde.

En représentant le parapectinate de plomb par la formule

$$C^{64}HO^{46}, HO^{62}, PbO,$$

la théorie donne 10,6 pour 100 d'oxyde. J'ai obtenu, dans quelques expériences, des parapectinates de plomb contenant deux équivalents d'oxyde de plomb comme le prouvent les analyses suivantes :

I		II	
Sel	0,482	Sel	0,305
Parapectine	0,391	Parapectine	0,245
Oxyde de plomb	0,091	Oxyde de plomb	0,060
D'où 18,8 p. 100 d'oxyde.		D'où 19,6 p. 100 d'oxyde.	

En représentant le parapectinate de plomb bibasique par $C^{64}H^{46}O^{62}$, 2PbO, la théorie indique 19,4 qour 100 d'oxyde de plomb. Des analyses dont je ne cite pas ici les résultats, semblent prouver que la parapectine pourrait même s'unir à 3 équivalents d'oxyde de plomb.

Analyse des parapectinates de plomb bibasique.

		Composition en centièmes de la parapectine anhydre.		Théorie.	
Sel	0,584	H	5,42	H^{46}	4,97
Parapectine contenue dans le sel	0,460	C	41,95	C^{64}	41,18
Eau	0,225	O	52,63	O^{62}	53,85
Acide carboniquo	0,708		100,00		100,00

Cette analyse démontre que la parapectine en combinaison avec l'oxyde de plomb présente la même composition que la parapectine desséchée à 140 degrés.

Action des acides étendus sur la parapectine.

Métapectine. — La parapectine, mise en ébullition avec un acide étendu, s'altère assez rapidement et se transforme en un nouveau corps que j'ai nommé *métapectine.*

La métapectine, qui pourrait être appelée avec raison *acide métapectinique*, présente des caractères acides tranchés et rougit sensiblement la teinture de tournesol. Elle est soluble dans l'eau, incristallisable, insoluble dans l'alcool comme les corps précédents; elle se transforme comme eux, en pectates par l'action des bases. Son caractère distinctif est de précipiter le chlorure de baryum tandis que la pectine et la parapectine ne sont pas précipitées par ce réactif.

Composition de la métapectine.

La métapectine, desséchée à 100 degrés, est isomérique avec la pectine et la parapectine ; elle est représentée par la formule

$$C^{64}H^{48}O^{64}.$$

Quand on la dessèche à 140 degrés, elle perd, comme la parapectine, 2 équivalents d'eau, et devient $C^{64}H^{46}O^{62}$.

Métapectine	0,503
Eau	0,253
Acide carbonique	0,772

Compostion en centièmes.		Equivalents.	Théorie.	
H.	5,58	H^{46}	H.	4,97
C.	41,85	C^{64}	C.	41.48
O.	52,57	O^{62}	O.	53,55
	100,00			100,00

Analyse du métapectinate de plomb.

I		II	
Sel de plomb	0,386	Sel	0,272
Oxyde de plomb	0,076	Oxyde	0,057
Métapectine	0,310	Métapectine	0,215
D'où 19,6 p. 100 d'acide.		D'où 20,9 p. 100 d'acide.	

Analyse élémentaire du métapectinate de plomb.

I		II	
Sel	0,715	Sel	0,477
Métapectine contenue dans le sel.	0,574	Métapectine contenue dans le sel.	0,377
Eau	0,290	Eau	0,185
Acide carbonique	0,872	Acide carbonique	0,583

Composition en centièmes de la métapectine anhydre.

	I	II	Équivalents.	Théorie.	
H.	5,60	5,44	H^{46}	H	4,97
C.	41,42	42,17	C^{64}	C	41,48
O.	52,98	52,44	O^{62}	O	53,55
	100,00	100,00			100,00

On voit, d'après ces analyses, que le métapectinate de plomb est isomérique avec le parapectinate de plomb bibasique.

Capacité de saturation d'un métapectinate de baryte obtenu en précipitant la métapectine par le chlorure de barium.

I		II	
Sel de baryte.	0,398	Sel de baryte.	0,100
Baryte	0,056	Baryte	0,015
Métapectine	0,342	Métapectine	0,085
D'où 15 p. 100 de baryte.		D'où 15 p. 100 de baryte.	

En représentant le métapectinate de baryte par la formule

$$C^{64}H^{46}O^{62}, BaO,$$

la théorie donne 14,1 p. 100 de baryte.

La métapectine peut se combiner aux acides pour former des composés doubles solubles dans l'eau et précipitables par l'alcool.

La combinaison de métapectine et d'acide chlorhydrique s'obtient en faisant bouillir la métapectine avec de l'acide chlorhydrique étendu, et en précipitant la liqueur par l'alcool; elle est acide aux réactifs colorés; elle précipite le chlorure de baryum et l'azotate d'argent.

L'acide sulfurique et l'acide oxalique peuvent aussi s'unir à la métapectine et former des composés solubles et gélatineux qui ressemblent aux précédents.

Il m'a paru important de constater ici l'existence des combinaisons qui se forment souvent lorsqu'on soumet la pectose à l'action des acides, et qui peuvent modifier les propriétés et la composition de la pectine.

J'ai reconnu, en effet, que la pectine qui a été préparée en faisant agir de l'acide oxalique sur la pectose retenait de l'acide oxalique en combinaison et donnait à l'analyse un excès de carbone. Celle qui avait été obtenue avec les acides sulfurique et chlorhydrique contenait souvent des traces des acides employés pour la produire.

Les trois substances que je viens de décrire constituent la première classe de corps gélatineux; ils sont, comme on le voit, solubles dans l'eau, gommeux, précipitables par l'alcool, et possèdent chacun des propriétés distinctives bien tranchées. Le premier est neutre au tournesol, et ne précipite pas l'acétate neutre de plomb; le second est encore neutre et forme dans l'acétate neutre de plomb un précipité abondant; le troisième, qui est acide au tournesol, précipite le chlorure de baryum.

Fermentation pectique.

Pectase. — Avant de poursuivre l'examen des corps gélatineux, je dois présenter ici les caractères d'une modification qu'éprouvent ces corps lorsqu'on les soumet à l'influence d'un ferment particulier : j'ai désigné cette modification sous le nom de *fermentation pectique.*

On sait que le même fruit contient ordinairement le principe immédiat et le ferment qui peut déterminer les modifications de ce principe. C'est ainsi que, dans le raisin, le ferment se trouve à côté du sucre; dans les amandes amères, la synaptase accompagne l'amygdaline; dans l'orge germée, la diastase est voisine de l'amidon. Je devais donc rechercher si, à côté des substances gélatineuses, il n'existerait pas un ferment pouvant opérer leurs transformations.

J'ai trouvé effectivement, dans tous les tissus qui contiennent la pectose, un corps exerçant une action toute spéciale sur la pectine, et comparable en tous points à la diastase, à la synaptase, etc. ; je lui ai donné le nom de *pectase.*

La pectase est le ferment des substances gélatineuses ; on peut l'obtenir en précipitant par de l'alcool du jus de carottes nouvelles. Après cette précipitation, la pectase, qui d'abord était soluble, devient insoluble dans l'eau, sans perdre cependant son action sur les substances gélatineuses.

La pectase, introduite dans une dissolution de pectine, jouit de la propriété remarquable de transformer en peu de temps la pectine en un corps gélatineux et insoluble dans l'eau froide. *C'est cette réaction qui constitue la fermentation pectique*; elle n'est accompagnée d'aucun dégagement de gaz, et peut s'opérer à l'abri de l'air; je me suis assuré qu'une dissolution de pectine mélangée à de la pectase devenait promptement gélatineuse quand on l'introduisait à la partie supérieure d'une éprouvette remplie de mercure. La fermentation pectique se détermine principalement, comme toutes les fermentations, à la température de 30°.

La pectase est incristallisable ; abandonnée dans l'eau pendant deux ou trois jours, elle se décompose rapidement, se couvre de moisissures, et n'agit plus alors comme ferment pectique. Une ébullition prolongée paralyse aussi son action sur la pectine ; elle existe dans l'organisation végétale sous deux états différents : elle peut être soluble ou insoluble.

Les racines telles que les carottes, les betteraves, contiennent de la pectase soluble; leur suc, en effet, produit la fermentation pectique, tandis que les sucs de pommes ou d'autres fruits acides n'agissent pas sur la pectine. La pectase se trouve dans ces fruits à l'état insoluble et accompagne la partie insoluble des pulpes; en mettant des pulpes de pommes vertes dans une dissolution de pectine, on voit cette liqueur devenir, en peu de temps, gélatineuse : il s'est formé alors deux acides gélatineux insolubles dans l'eau froide, qui sont les acides pectosique et pectique.

On transforme la pectase soluble en pectase insoluble, par une coagulation au moyen de l'alcool : c'est ce que démontre l'expérience suivante : j'ai précipité par l'alcool un suc de carottes dans lequel la présence et l'efficacité de la pectase

avaient été constatées par une expérience préalable ; le précipité a été repris par l'eau et séparé au moyen de la filtration : la liqueur filtrée s'est trouvée sans action sur la pectine, tandis que le précipité produisait, au bout de quelque temps, la fermentation pectique.

Si l'on considère les différents phénomènes qui accompagnent la fermentation pectique, on reconnaît que cette fermentation présente la plus grande analogie avec la *fermentation lactique*. En effet, la fermentation pectique se produit, comme la fermentation lactique à l'abri de l'air, sans dégagement de gaz ; les substances qu'elle forme sont acides et ne diffèrent du corps qui a été soumis à l'influence du ferment que par une certaine quantité d'eau et par leur capacité de saturation.

Les caractères de la fermentation pectique étant une fois indiqués, j'examinerai maintenant les composés qui résultent de l'action de la pectase sur les substances gélatineuses, en commençant par deux acides insolubles dans l'eau froide, qui viennent se placer dans la série des corps gélatineux, à la suite de la métapectine.

Acide pectosique.

Cet acide, qui n'a été signalé jusqu'à présent par aucun des chimistes qui se sont occupés de l'étude de l'acide pectique, se produit cependant avec facilité. On l'obtient d'abord en introduisant de la pectase dans une dissolution de pectine : c'est lui qui prend naissance en premier lieu, et qui rend l'eau gélatineuse.

L'acide pectosique se forme encore par l'action des dissolutions étendues et froides de potasse, de soude, d'ammoniaque, de carbonates alcalins, sur la pectine ; il se produit, dans ce cas, des pectosates qui donnent de l'acide pectosique quand on les traite par des acides.

L'acide pectosique est gélatineux, à peine soluble dans l'eau froide ; il devient complètement insoluble en présence des acides ; il se dissout dans l'eau bouillante : cette dissolution se prend en gelée par le refroidissement.

L'acide pectosique se transforme rapidement en acide pectique par l'action soit de l'eau bouillante, soit de la pectase ou celle des alcalis employés en excès.

Les pectosates sont gélatineux et incristallisables.

Composition de l'acide pectosique.

Acide.	0,300
Eau.	0,142
Acide carbonique	0,452

Centièmes.		Équivalents.	Théorie.	
H.	5.25	H^{23}	H.	4,97
C.	41,08	C^{32}	C.	41,48
O.	53,67	O^{31}	O.	53,55
	100,00			100,00

Pectosate de plomb.

Sel	0,458
Oxyde	0,150
Acide	0,308

D'où 32,7 p. 100 d'oxyde.

En représentant le pectosate de plomb par la formule

$$C^{32} H^{21} O^{29}, \ 2PbO,$$

la théorie donne 33,4 pour 100 d'oxyde.

Analyse élémentaire du pectosate de plomb.

		Composition en centièmes de l'acide pectosique anhydre.		Équivalents.	Théorie.	
Sel	0,737	H	5,18	H^{21}	H	4,71
Acide combiné	0,495	C	42,91	C^{32}	C	43,14
Eau	0,231	O	51,91	O^{29}	O	52,15
Acide carbonique	0,779		100,00			100,00

On voit que l'acide pectosique perd 2 équivalents d'eau en se combinant à 2 équivalents d'oxyde de plomb.

La capacité de saturation do l'acide pectosique est difficile à fixer, car cet acide se transforme en acide pectique sous l'influence d'un excès de base.

J'ai préparé, toutefois, le pectosate de baryte qui m'a paru se prêter assez bien à la détermination de l'équivalent de l'acide pectosique, en précipitant la pectine en excès pour éviter l'influence de la base qui aurait transformé le pectosate en pectate. Je me suis assuré que le pectosate ainsi préparé ne contenait pas de pectate; car en le traitant à chaud par un acide faible, il se dissolvait entièrement, tandis qu'un mélange de pectosate et de pectate aurait laissé de l'acide pectique insoluble.

Les analyses du pectosate de baryte ont confirmé la formule de l'acide pectosique que j'ai admise précédemment; seulement ce sel contient 1 équivalent d'eau de plus que le pectosate de plomb.

I		II	
Pectosate de baryte	0,502	Pectosase de baryte	0,424
Baryte	0,121	Baryte	0,105
Acide	0,381	Acide	0,319
D'où 24,1 p. 100 de baryte.		D'où 24,1 p. 100 de baryte.	

En représentant le pectosate de baryte par la formule

$$C^{32} H^{21} O^{29}, \ HO, \ 2BaO,$$

la théorie donne 25,3 pour 100 de baryte.

Acide pectique.

L'insolubilité de l'acide pectique dans l'eau, son aspect gélatineux, sa préparation facile, ont dû fixer depuis longtemps l'attention des chimistes sur ce corps singulier; aussi l'acide pectique est-il jusqu'à présent le seul terme de la série des corps gélatineux dont l'étude ait été faite avec quelque soin.

On sait que l'acide pectique a été découvert par Braconnot. Je crois inutile de rappeler ici toutes les propriétés de l'acide pectique qui sont consignées dans les ouvrages de chimie; j'insisterai seulement sur les caractères de cet acide qui n'ont pas encore été signalés.

L'acide pectique prend naissance dans l'action de la pectase sur la pectine; si l'on abandonne en effet, pendant quelque temps, à la température de 30°, une dissolution de pectine tenant en suspension de la pectase, la pectine se transforme d'abord en acide pectosique, puis en acide pectique, Les dissolutions étendues de potasse, de soude, de carbonates alcalins, d'ammoniaque, les eaux de chaux, de baryte, de strontiane, changent presque instantanément la pectine en pectates. On retire l'acide pectique de ses différents sels en soumettant les pectates à l'action des acides.

On prépare généralement l'acide pectique en faisant bouillir des pulpes de racines avec des dissolutions étendues de carbonates alcalins; dans ce cas, c'est la pectose contenue à l'état insoluble dans les pulpes qui se transforme en pectates sous l'influence des carbonates alcalins. J'ai pensé qu'il était important de déterminer si l'acide pectique préexistait dans les pulpes de racines ou de fruits, ou s'il résultait de la transformation de la pectase en acide pectique par l'action des réactifs. J'ai soumis, dans ce but, des pulpes de carottes, de navets ou de betteraves à l'action d'acides faibles pouvant, sous l'influence de l'ébullition, changer la pectose en pectine; il s'est formé d'abord une quantité considérable de pectine qui est entrée en dissolution; j'ai remplacé cette liqueur par une autre également acide, et j'ai épuisé l'action de l'acide sur les pulpes jusqu'à ce que la liqueur ne contînt plus de traces de pectine. Cette expérience a exigé une longue ébullition, car la cellulose préserve pendant longtemps les dernières traces de pectose de l'action dissolvante des acides.

La pectose contenue dans les pulpes ayant été transformée complètement en pectine par les acides, j'ai traité alors les pulpes par une liqueur alcaline, afin de dissoudre l'acide pectique qui pouvait se trouver à l'état de liberté.

Il m'est arrivé, dans quelques expériences, d'obtenir ainsi de petites quantités d'acide pectique, et, dans d'autres essais, de ne pas en retirer de traces; j'ai cru reconnaître que les racines anciennes contenaient plus d'acide pectique que les racines nouvelles.

Cette expérience me paraît démontrer que la plus grande partie de l'acide pectique que l'on obtient en traitant des pulpes de racines par des dissolutions alcalines, résulte de la transformation de la pectose en acide pectique sous l'influence des alcalis. Elle prouve en outre que les racines peuvent, dans quelques cas, contenir une certaine quantité de pectates.

Du reste, il est impossible de déterminer exactement, par l'expérience précé-

dente, la proportion d'acide pectique préexistant dans un tissu végétal; car les acides que l'on emploie pour transformer la pectose en pectine, décomposent les pectates, éliminent l'acide pectique, qui s'altère toujours par l'ébullition ou qui entre en dissolution dans les sels qui prennent naissance pendant l'ébullition des pulpes avec les acides.

L'acide pectique est insoluble dans l'eau froide et à peine soluble dans l'eau bouillante; mais si l'on fait bouillir pendant un certain temps de l'eau qui tient en suspension de l'acide pectique, en ayant soin de renouveler l'eau à mesure qu'elle s'évapore, l'acide pectique disparaît complètement et se transforme en un nouvel acide soluble dans l'eau et déliquescent : cette modification s'opère assez rapidement pour que l'acide pectique que l'on soumet à l'étuve lorsqu'il est encore humide, se trouve toujours mélangé à une certaine quantité d'acide déliquescent. J'ai reconnu que l'acide pectique qui est placé dans une étuve lorsqu'il est encore humide, se colore en brun, devient hygrométrique, et cède à l'eau froide un corps fortement acide.

Pour éviter cette altération, il est indispensable de dessécher d'abord l'acide pectique à froid et dans le vide, et de ne l'exposer à la chaleur de l'étuve que lorsqu'on a enlevé par l'action du vide la plus grande quantité d'humidité qu'il contenait.

L'acide pectique, préparé par la méthode ordinaire, est toujours mélangé à un corps azoté de nature albumineuse qui se dissout comme lui dans les liqueurs alcalines et se précipite par les acides. J'ai constaté la présence de ce principe albumineux en modifiant l'acide pectique par l'action de l'eau bouillante ; l'acide pectique se dissout et il reste un léger dépôt d'albumine. Ce corps albumineux suffit souvent pour altérer la composition de l'acide pectique.

Pour enlever cette matière albumineuse, le mieux est de combiner l'acide pectique à l'ammoniaque, et de faire bouillir pendant longtemps le pectate d'ammoniaque ; bientôt la liqueur se trouble et laisse déposer l'albumine sous la forme d'un précipité grisâtre; la dissolution, qui d'abord avait une teinte grisâtre, se décolore entièrement. Toutefois, ce procédé ne réussit pas toujours, et j'ai vu souvent le pectate d'ammoniaque conserver sa coloration après une ébullition de plusieurs heures; il faut alors avoir recours à l'action du sous-acétate de plomb qui, introduit en faibles proportions dans le sel ammoniacal, forme un précipité jaune qui entraîne la matière azotée.

On obtient de l'acide pectique absolument pur et blanc par la méthode suivante : on prépare d'abord de la pectine en faisant bouillir des pulpes de carottes bien lavées avec une eau faiblement acidulée par l'acide chlorhydrique ; la liqueur filtrée qui tient en dissolution la pectine est traitée par du carbonate de soude qui transforme par l'ébullition la pectine en pectate de soude : ce sel, décomposé par l'acide chlorhydrique, donne l'acide pectique qui doit être lavé à l'eau distillée. Dans cette préparation, il faut se garder d'employer un excès de carbonate de soude qui décomposerait l'acide pectique en le transformant en acide métapectique soluble dans l'eau. Il faut cependant employer une quantité suffisante de carbonate de soude ; car si ce sel faisait défaut, il ne se produirait que du pectosate de soude qui, sous l'influence d'un acide, donnerait de l'acide pectosique qui se dissoudrait complètement dans l'eau pendant les lavages. Des

tâtonnements peuvent seuls apprendre la quantité de sel alcalin que l'on doit employer pour transformer la pectine en pectate.

Cette action des alcalis sur l'acide pectique explique les difficultés que présente la préparation de cet acide. Il arrive souvent qu'après avoir fait bouillir des pulpes de carottes avec du carbonate de soude, on obtient une liqueur qui ne contient pas de traces d'acide pectique; c'est que dans ce cas on a employé un trop grand excès de sel alcalin qui a transformé l'acide pectique en acide métapectique soluble dans l'eau. Cette modification de l'acide pectique est toujours annoncée par une coloration brune que prend la liqueur.

Je ferai connaître maintenant les soins à prendre pour déterminer avec exactitude la capacité de saturation de l'acide pectique, et pour obtenir des pectates insolubles présentant une composition constante.

L'acide pectique se dissout facilement dans les liqueurs alcalines même très étendues; les alcalis employés en excès l'altèrent rapidement; c'est ainsi qu'une dissolution de pectate de potasse que l'on fait bouillir avec un excès d'alcali ne contient plus de traces d'acide pectique, après quelque temps d'ébullition, et ne précipite plus par les acides : pour préparer un pectate pur, on doit donc éviter un excès d'alcali et l'influence d'une ébullition prolongée.

Un grand nombre de sels neutres, presque tous les sels organiques à base d'ammoniaque et principalement les pectates solubles, jouissent de la propriété singulière de dissoudre des quantités considérables d'acide pectique; aussi peut-on obtenir des pectates solubles ayant des compositions très variables et contenant un grand excès d'acide pectique en dissolvant ce dernier acide dans des quantités de potasse, de soude ou d'ammoniaque insuffisantes pour constituer des sels neutres. J'ajouterai enfin que les pectates solubles forment des précipités basiques dans les dissolutions d'acétate de plomb ammoniacal, et que par conséquent en versant de l'acétate de plomb dans du pectate d'ammoniaque contenant un excès de base, on précipite des pectates de plomb qui contiennent d'autant plus d'oxyde de plomb que le pectate était plus ammoniacal : en faisant ainsi varier la proportion d'ammoniaque, j'ai obtenu des sels donnant, par l'analyse, depuis 34 p. 100 jusqu'à 60 p. 100 d'oxyde de plomb.

L'acide pectique présente donc l'exemple, bien rare en chimie, d'un acide insoluble dans l'eau froide, altérable dans l'eau bouillante, décomposable par l'influence des bases et pouvant former des sels acides ou basiques, suivant la proportion de base employée pour le dissoudre. Il était difficile, je crois, de rencontrer plus de difficultés réunies dans la détermination de l'équivalent d'un acide organique.

J'ai cru d'abord qu'il serait possible d'obtenir un pectate de plomb neutre, en versant sur de l'acide pectique de l'eau bouillante qui en dissolvait une certaine quantité, et en recevant la liqueur filtrée dans une dissolution d'acétate de plomb; mais les analyses des pectates de plomb obtenus par cette méthode m'ont donné des résultats très variables : ces sels contenaient toujours un excès d'acide.

Après bien des tâtonnements, je suis arrivé à préparer un pectate de baryte présentant une composition constante et pouvant servir à déterminer l'équivalent de l'acide pectique; ce sel a été obtenu dans les conditions suivantes :

Je traite à l'abri de l'air et à froid une dissolution de pectine par un grand excès d'eau de baryte; il se forme d'abord un précipité de pectosate de baryte qui se change en pectate sous l'influence d'un excès de base. Le précipité est lavé rapidement et desséché d'abord dans le vide, puis dans l'étuve à 120 degrés. Je dois dire, du reste, que les pectates de plomb obtenus en précipitant, par l'acétate neutre de plomb, le pectate d'ammoniaque aussi neutre que possible, m'ont présenté souvent à l'analyse des résultats se rapprochant beaucoup de ceux donnés par le pectate de baryte. Il faut s'être occupé de l'étude des corps organiques incristallisables pour apprécier toutes les difficultés que j'ai rencontrées dans cette partie de mes recherches.

Analyse de l'acide pectique.

I		II		III	
Acide carbonique	0,910	Acide carbonique	0,662	Acide carbonique	0,762
Acide	0,600	Acide	0,437	Acide	0,500
Eau	0,247	Eau	0,198	Eau	0,214

Composition en centièmes.

	I	II	III	Équivalents.	Théorie.	
H	4,56	5,02	4,75	H^{22}	H	4,84
C	41,35	41,30	41,55	C^{32}	C	42,29
O	54,09	53,68	53,70	O^{30}	O	52,87
	100,00	100,00	100,00			100,00

Analyse du pectate de plomb.

Sel	0,992
Acide	0,644
Eau	0,283
Acide carbonique	1,037

Composition en centièmes de l'acide pectique anhydre.		Équivalents.	Théorie.	
H	4,87	H^{20}	H	4,58
C	43,91	C^{32}	C	44,03
O	51,22	O^{28}	O	51,39

CAPACITÉ DE SATURATION DE L'ACIDE PECTIQUE

Pectates de plomb.

I		II		III	
Sel	0,477	Sel	0,211	Sel	0,485
Oxyde	0,067	Oxyde	0,070	Oxyde	0,159
Acide	0,310	Acide	0,141	Acide	0,326
D'où 35 p. 100 d'oxyde.		D'où 33,1 p. 100 d'oxyde.		D'où 32,7 p. 100 d'oxyde.	

En représentant le pectate de plomb par la formule

$$C^{32}H^{20}O^{28}, 2PbO,$$

la théorie indique 33,8.

On voit que les nombres que j'ai obtenus, sans s'eloigner beaucoup de la théorie, ne présentent pas cet accord que l'on observe dans des analyses faites sur des sels cristallisés.

Les analyses du pectate de baryte ont présenté plus de régularité :

	I		II		III		IV
Sel	0,320	Sel	0,359	Sel	0,393	Sel	0,555
Baryte. . .	0,086	Baryte . .	0,095	Baryte. . .	0,101	Baryte . .	0,141
Acide . . .	0,234	Acide . . .	0,264	Acide . . .	0,292	Acide. . .	0,414
D'où 26,8 p. 100 de baryte.		D'où 26,4 p. 100 de baryte		D'où 25,7 p. 100 de baryte.		D'où 25,3 p. 100 de baryte.	

En représentant le pectate de baryte par la formule suivante :

$$C^{32}H^{20}O^{28},\ 2BaO,$$

la théorie donne 26 p. 100 de baryte.

Comme l'acide pectique prend naissance dans des circonstances très variées, j'ai voulu rechercher si cet acide, produit par des procédés différents, présentait toujours la même composition : dans ce but, j'ai analysé l'acide pectique obtenu par les méthodes suivantes :

1° En faisant bouillir des pulpes de carottes et de navets avec des carbonates alcalins;

2° En soumettant les pulpes de racines à l'action d'un acide faible : la pectine, ainsi produite, fut transformée en pectate sous l'influence des alcalis ;

3° En changeant en pectates la pectine provenant des pommes, des groseilles ou des poires.

Il est résulté de mes expériences que l'acide pectique, préparé par ces différents procédés, est toujours le même; il présente les mêmes propriétés générales et la même composition. Lorsque, dans mes analyses, il m'est arrivé de trouver des résultats variables, j'ai toujours reconnu que l'acide pectique analysé n'était pas pur ; qu'il donnait à la calcination une quantité notable de cendres, ou bien qu'il contenait de l'acide pectosique, et plus souvent de l'albumine végétale.

J'ai dit précédemment que l'acide pectique présentait la propriété singulière de se dissoudre dans un grand nombre de sels alcalins : ce caractère est facile à constater.

Si l'on introduit dans une liqueur qui tient en suspension de l'acide pectique une très faible quantité d'un sel alcalin, et principalement un sel ammoniacal contenant un acide organique tel que l'acide citrique, l'acide malique, l'acide oxalique, etc., on voit l'acide pectique se dissoudre aussitôt, surtout lorsque la liqueur est poussée à l'ébullition.

Il se forme, dans ce cas, de véritables sels doubles qui pourraient être confondus avec la pectine. En effet, ces composés sont, comme la pectine, solubles dans l'eau et incristallisables ; l'alcool les précipite sous la forme d'une gelée transparente ; mais ils ne sont solubles dans l'eau qu'en présence d'un excès de sel alcalin, ou sous l'influence des sels organiques ; car lorsqu'on les a purifiés par des précipitations successives au moyen de l'alcool, ils perdent en partie leur solubilité dans l'eau : ils se décomposent aussi par une ébullition prolongée. Leur réaction est toujours très sensiblement acide; ils jouissent de la propriété de se dissoudre dans l'eau bouillante, et de reformer, par le refroidissement, une gelée consistante. J'ai analysé à plusieurs reprises ces pectates

doubles, et principalement ceux que l'on obtient en dissolvant l'acide pectique dans l'oxalate d'ammoniaque; mes résultats n'ont présenté entre eux aucun accord : il est probable que, pendant les lavages à l'alcool, ces composés éprouvent une décomposition partielle.

La production de ces sels doubles m'a rendu compte de plusieurs faits dont l'interprétation m'avait paru d'abord assez difficile.

Ainsi, j'avais reconnu qu'en traitant des pulpes de carottes par des acides différents, je produisais des pectines dont les propriétés variaient en quelque sorte avec chaque acide employé pour les produire. Les acides organiques, et principalement l'acide oxalique, formaient des pectines pouvant faire prendre l'eau en gelée, et qui perdaient en partie leur solubilité par des lavages à l'alcool; leurs dissolutions produisaient, en outre, pendant l'évaporation, des dépôts gélatineux.

Je me suis assuré que le corps qui rendait la pectine gélatineuse, qui se coagulait par la chaleur et qui devenait insoluble dans les liqueurs neutres, était une combinaison d'acide pectique avec un sel organique à base de potasse ou d'ammoniaque.

La production de ces sels doubles pendant la préparation de la pectine est facile à comprendre; les pulpes de carottes bien lavées contiennent de la cellulose, de la pectose, des pectates de chaux, des sels calcaires, et principalement des phosphates de chaux et du phosphate ammoniaco-magnésien. L'acide que l'on emploie pour produire la pectine décompose le pectate de chaux, élimine l'acide pectique, et réagit en même temps sur les sels calcaires et magnésiens pour produire des sels ammoniacaux qui opèrent la dissolution de l'acide pectique : il se forme alors des composés gélatineux qui se dissolvent dans l'eau avec la pectine.

Pour confirmer cette interprétation, j'ai constaté, par des expériences précises, que les liqueurs acides obtenues en faisant bouillir des pulpes de carottes bien lavées avec des acides, même très étendus, contenaient des quantités appréciables de sels ammoniacaux. On évite la production de ces sels doubles, qui s'opposent ensuite à la purification de la pectine, en laissant les pulpes de carottes en digestion pendant vingt-quatre heures dans de l'eau froide fortement acidulée par l'acide chlorhydrique. Les sels calcaires ou magnésiens se dissolvent dans l'acide, tandis que la pectose n'éprouve pas d'altération sensible.

Les pulpes lavées à l'eau distillée et traitées par l'eau bouillante très faiblement acide donnent alors de la pectine pure.

Telles sont les propriétés des acides gélatineux et insolubles dans l'eau froide, qui dérivent de la pectine; il me reste à parler maintenant de deux acides solubles dans l'eau, qui représentent les dernières modifications que les substances gélatineuses peuvent éprouver sous l'influence des réactifs.

Acide parapectique.

Je donne le nom d'*acide parapectique* à un premier acide soluble dans l'eau, qui prend naissance dans l'action de l'eau bouillante sur l'acide pectique.

On peut obtenir l'acide parapectique en combinaison avec les bases, en soumettant pendant longtemps les pectates à l'action d'une température de 150 degrés, ou mieux, en maintenant pendant quelques heures des pectates dans l'eau bouillante. Les pectates insolubles peuvent eux-mêmes se transformer en parapectates sous l'influence de la chaleur. J'ai fait bouillir, en effet, pendant plusieurs jours, de l'eau qui tenait en suspension du pectate de plomb : j'ai reconnu qu'après cette ébullition le précipité ne contenait plus de traces d'acide pectique; car, en le soumettant à l'action d'un acide faible, il s'est dissous entièrement sans laisser de résidu : il s'était donc transformé en parapectate de plomb, dont l'acide est soluble dans l'eau.

L'acide parapectique est incristallisable; sa réaction est franchement acide : il forme des sels solubles avec la potasse, la soude et l'ammoniaque; il est précipité de sa dissolution par un excès d'eau de baryte.

Composition de l'acide parapectique.

J'ai déterminé la composition de l'acide parapectique en soumettant à l'analyse le parapectate de plomb obtenu en précipitant l'acide parapectique par l'acétate neutre de plomb.

Parapectate de plomb desséché à 110 degrés.

I		II		III	
Sel	0,756	Sel	0,790	Sel	0,846
Acide	0,443	Acide	0,478	Acide	0,482
Acide carbonique	0,679	Acide carbonique	0,727	Acide carbonique	0;738
Eau	0,197	Eau	0,231	Eau	0.201

Composition en centièmes.

I		II		III		Équivalents.	Théorie.	
H	4,93	H	5,36	H	4,62	H^{17}	H	4,93
C	41,79	C	41,47	C	41,75	C^{24}	C	41,76
O	53,28	O	53,17	O	53,63	O^{23}	O	53,31
	100,00		100,00		100,00			100,00

Parapectate de plomb desséché à 150 degrés.

I		II		III	
Sel	0,612	Sel	0,500	Sel	0,833
Acide	0,350	Acide	0,285	Acide	0,474
Acide carbonique	0,570	Acide carbonique	0,454	Acide carbonique	0,762
Eau	0,154	Eau	0,123	Eau	0,192

Composition en centièmes.

I		II		III		Équivalents.	Théorie.	
H	4,88	H	4,78	H	4,49	H^{15}	H	4,58
C	44,40	C	43,43	C	43,83	C^{24}	C	44,04
O	50,72	O	51,79	O	51,68	O^{21}	O	51,38
	100,00		100,00		100,00			100,00

CAPACITÉ DE SATURATION DE L'ACIDE PARAPECTIQUE.

Parapectate de plomb.

I		II		III	
Sel.	0,272	Sel	0,216	Sel	0,244
Oxyde	0,109	Oxyde.	0,088	Oxyde	0,101
Acide	0,163	Acide.	0,128	Acide.	0,143
D'où 40 p. 100 d'oxyde.		D'où 40,78 p. 100 d'oxyde.		D'où 41,3 p. 100 d'oxyde.	

En représentant le parapectate de plomb par la formule

$$C^{24}H^{15}O^{21}, 2PbO,$$

la théorie donne 40,5 pour 100 d'oxyde de plomb. Ainsi le parapectate de plomb desséché à 110 degrés a pour formule

$$C^{24}H^{15}O^{21}, 2PbO, 2HO,$$

et devient $C^{24}H^{15}O^{21}$, 2PbO, après une dessiccation à 150 degrés.

Analyse du parapectate de potasse.

Ce sel a été obtenu en neutralisant exactement une dissolution d'acide parapectique au moyen de la potasse, et en précipitant la liqueur par l'alcool; il a été desséché à 150 degrés :

Sel	0,2560
Potasse.	0,0589
Acide	0,1971
D'où 23 p. 100 de potasse.	

En représentant ce sel par $C^{24}H^{15}O^{21}$, 2KO, la théorie donne 22,3 pour 100 de potasse.

Acide métapectique.

L'acide métapectique prend naissance dans les circonstances suivantes :

1° Lorsqu'une dissolution de pectine est abandonnée à elle-même pendant plusieurs jours, elle devient fortement acide, et perd la propriété de précipiter par l'alcool : elle contient alors de l'acide métapectique ; cette transformation est plus rapide lorsque la pectine est mise en présence de la pectase.

2° Quand la pectine est soumise à l'action des acides énergiques, elle se change en acide métapectique : ainsi l'acide chlorhydrique étendu transforme en quelques minutes, sous l'influence de l'ébullition, la pectine en acide métapectique.

3° Si la pectine est traitée par un excès de potasse ou de soude, il se forme un métapectate alcalin. Les acides pectosique et pectique peuvent aussi se changer en métapectates sous l'influence des bases ; mais cette transformation est plus lente que celle de la pectine.

4° L'acide pectique, abandonné dans l'eau pendant deux ou trois mois, se dissout complètement, ou du moins ne laisse pour résidu que la substance albumineuse, qu'il retient presque toujours ; il se change, dans ce cas, en acide

métapectique. Cette modification peut s'opérer en trente-six heures lorsqu'on fait intervenir l'action de la chaleur ou celle des acides étendus.

5° L'acide parapectique en dissolution dans l'eau se change rapidement en acide métapectique.

L'acide métapectique est soluble dans l'eau, incristallisable, et forme avec toutes les bases des sels solubles ; il ne précipite ni l'acétate neutre de plomb, ni les eaux de chaux et de baryte ; ses sels se colorent en jaune sous l'influence d'un excès de base. L'acide métapectique précipite le sous-acétate de plomb.

Les deux acides parapectique et métapectique jouissent de la propriété de décomposer, à l'aide de l'ébullition, le tartrate double de potasse et de cuivre. Pour m'assurer que cette réaction n'était point due à la présence du glucose, j'ai dû rechercher avec soin si la dissolution des acides parapectique et métapectique, préparée par une des méthodes indiquées précédemment, ne contenait pas de sucre.

A cet effet, j'ai combiné d'abord ces acides avec l'oxyde de plomb ou avec la chaux ; je les ai retirés ensuite de ces combinaisons, et j'ai reconnu qu'ils décomposaient encore le tartrate double de potasse et de cuivre.

Je me suis assuré que la dissolution des acides précédents n'exerçait pas d'action rotatoire sur la lumière polarisée ; toutefois, comme cette neutralité apparente aurait pu provenir de deux sucres mélangés et agissant sur la lumière polarisée dans des sens opposés, j'ai soumis les dissolutions d'acides métapectique et parapectique à l'action des ferments, et j'ai constaté qu'elles ne produisaient pas de traces de fermentation. Je crois donc pouvoir avancer, avec toute certitude, que la pectine et l'acide pectique, en se changeant en acide métapectique, ne forment pas de traces de sucre.

L'expérience précédente prouve, du reste, que le tartrate double de potasse et de cuivre ne peut pas être employé pour constater d'une manière certaine la présence du sucre dans des recherches de chimie organique, puisqu'il existe un certain nombre de corps qui agissent sur lui à la manière du sucre.

La dissolution d'acide métapectique se couvre rapidement de moisissures ; lorsqu'on la fait bouillir pendant longtemps, elle se décompose, dégage de l'acide acétique et donne naissance à un dépôt noir d'acide ulmique.

COMPOSITION DE L'ACIDE MÉTAPECTIQUE

Métapectate de plomb desséché à 160 degrés.

I		II		III	
Sel.	1,000	Sel.	1,387	Sel	1,000
Acide.	0,266	Acide	0,490	Acide.	0,266
Acide carbonique.	0,427	Acide carbonique.	0,773	Acide carbonique.	0,428
Eau	0,105	Eau.	0,220	Eau.	0,106

Composition en centièmes.

I		II		III		Équivalents.	Théorie.	
H. . .	4,38	H. . .	4,98	H. . .	4,38	H^5	H. . .	4,58
C. . .	43,77	C. . .	43,00	C. . .	43,77	C^8	C. . .	44,00
O. . .	51,85	O. . .	52,02	O. . .	51,85	O^7	O. . .	51,38
	100,00		100,00		100,00			100,00

On voit, d'après ces analyses, que l'acide métapectique présente la même composition que l'acide parapectique.

Lorsqu'on précipite l'acide métapectique par le sous-acétate de plomb, on peut obtenir des sels contenant deux ou trois équivalents d'oxyde, et qui sont représentés par les formules

$$C^8H^5O^7, 2PbO - C^8H^5O^7, 3PbO,$$

Comme le démontrent les analyses suivantes :

Métapectate de plomb bibasique.

I		II		III		IV	
Sel	1,000	Sel	0,535	Sel	0,469	Sel	0,529
Acide . . .	0,325	Acide . . .	0,172	Acide . . .	0,152	Acide. . .	0,165
Oxyde. . .	0,675	Oxyde. . .	0,363	Oxyde. . .	0,317	Oxyde. . .	0,364
D'où 67,5 p. 100 d'oxyde.		D'où 67,8 p. 100 d'oxyde.		D'où 67,5 p. 100 d'oxyde.		D'où 68,8 p. 100 d'oxyde.	

En représentant ce sel par $C^8H^5O^7$, 2PbO, la théorie donne 67,2 pour 100 d'oxyde.

Métapectate de plomb tribasique.

I		II		III		IV	
Sel	0,553	Sel	0,448	Sel	0,287	Sel	0,317
Oxyde. . .	0,406	Oxyde. . .	0,331	Oxyde. . .	0,214	Oxyde . .	0,234
Acide . . .	0,147	Acide . . .	0,117	Acide . . .	0,073	Acide. . .	0,083
D'où 73,4 p. 100 d'oxyde.		D'où 73,8 p. 100 d'oxyde.		D'où 74,2 p. 100 d'oxydo.		D'où 78,3 p. 100 d'oxydo.	

En représentant ce sel par $C^8H^5O^7$, 3PbO, la théorie donne 75,4 pour 100 d'oxyde.

La formule de l'acide métapectique est assez simple, et présente, avec celle de l'acide malique, un rapprochement remarquable. En effet, l'acide malique anhydre a pour composition $C^8H^4O^8$, tandis que l'acide métapectique est représenté par $C^8H^5O^7$; on transformerait donc l'acide métapectique en acide malique, si l'on pouvait remplacer, dans l'acide métapectique, un équivalent d'hydrogène par un équivalent d'oxygène; jusqu'à présent, il m'a été impossible d'opérer cette modification.

Acide pyropectique.

Si l'on soumet à l'action d'une température de 200° la pectine ou l'un de ses dérivés, tels que l'acide pectique ou les acides parapectique et métapectique, il se dégage de l'eau et de l'acide carbonique, il se produit un acide pyrogéné noir, que j'ai nommé *acide pyropectique* : cet acide est insoluble dans l'eau ; il se dissout dans les liqueurs alcalines, et forme des sels colorés en brun qui sont incristallisables.

Analyse de l'acide pyropectique.

Matière	0,314
Eau	0,151
Acide carbonique	0.591

Centièmes.		Equivalents.	Théorie.	
H	5,33	H^9	H	5,46
C	51,32	C^{14}	C	50,96
O	43,35	O^9	O	43,58
	100,00			100,00

En rapprochant la composition de l'acide pyropectique de celle de l'acide métapectique anhydre, on voit que ces corps diffèrent l'un de l'autre par de l'eau et de l'acide carbonique :

$$2(C^8H^5O^7) = C^{14}H^9O^9 + HO + 2CO^2.$$

Je viens de faire connaître les principales propriétés des substances gélatineuses des végétaux ; il me reste maintenant à présenter quelques généralités sur leur composition, et à comparer les modifications artificielles que j'ai décrites, avec celles que les matières gélatineuses éprouvent pendant la maturation des fruits.

Considérations générales sur les propriétés et la composition des substances gélatineuses.

Le tableau suivant représente la composition des corps qui ont été examinés dans ce Mémoire.

NOMS DES SUBSTANCES gélatineuses.	COMPOSITION des substances gélatineuses.	COMPOSITION des sels de plomb.	OXYDE DE PLOMB contenu dans 100 parties de sel.
Pectose	»	»	»
Pectine	$C^{64}H^{40}O^{56}$, 8HO	»	»
Parapectine	$C^{64}H^{40}O^{56}$, 8HO	$C^{64}H^{40}O^{56}$, 7HO, PbO	10,6
Métapectine	$C^{64}H^{40}O^{56}$, 8HO	$C^{64}H^{40}O^{56}$, 6HO, 2PbO	19,4
Acide pectosique	$C^{32}H^{20}O^{26}$, 3HO	$C^{32}H^{20}O^{23}$, HO, 2PbO	33,4
Acide pectique	$C^{32}H^{20}O^{28}$, 2HO	$C^{32}H^{20}O^{28}$, 2PbO	33,8 *
Acide parapectique	$C^{24}H^{15}O^{21}$. 2HO	$C^{24}H^{15}O^{21}$, 2PbO	40,5
Acide métapectique	$C^3H^5O^7$, 2HO	$C^8H^3O^2$, 2PbO	67,2

* Je dois faire remarquer que la formule de l'acide pectique que j'adopte ici conduit à une composition en centièmes qui s'accorde parfaitement avec les analyses de l'acide pectique que l'on doit à MM. Regnault et Mulder, et avec celles que j'ai publiées dans un premier Mémoire sur l'acide pectique, inséré il y a quelques années dans le *Journal de pharmacie*.

Les résultats analytiques qui sont consignés dans ce tableau permettent de

tirer plusieurs conséquences qui me paraissent dignes de l'attention des chimistes.

On voit d'abord que tous les corps gélatineux, dérivés de la pectine, présentent les propriétés caractéristiques des acides, et que leur acidité augmente progressivement à mesure qu'ils s'éloignent de la pectose : ainsi, le corps qui s'en rapproche le plus, qui est la pectine, est neutre aux réactifs colorés, et ne précipite pas l'acétate neutre de plomb.

Le deuxième est encore neutre, mais précipite l'acétate neutre de plomb, et son sel de plomb ne contient que 10,6 pour 100 d'oxyde.

Le troisième composé commence à réagir sur la teinture de tournesol ; son sel de plomb contient 19,4 pour 100 d'oxyde.

Le quatrième et le cinquième composés sont acides aux réactifs colorés et sont gélatineux ; leurs sels de plomb contiennent 33,4 et 33,8 pour 100 d'oxyde.

Le sixième terme de la série est soluble, très acide, forme un sel de plomb qui contient 40,5 pour 100 d'oxyde.

Et, enfin, le dernier composé, l'acide métapectique, présente l'énergie des acides que l'on rencontre dans les fruits, tels que les acides malique, citrique, tartrique, etc. Son sel de plomb contient 67,2 pour 100 d'oyxde de plomb.

Ainsi, la série des corps gélatineux des végétaux commence par un corps qui est neutre et finit par un acide énergique, et les termes qui la composent sont isomériques, ou du moins ne diffèrent entre eux que par les éléments de l'eau. Sous ce double rapport, les corps gélatineux peuvent être comparés aux substances amylacées et ligneuses qui sont neutres lorsqu'on les extrait de l'organisation végétale, et qui, en se modifiant sous l'influence de quelques réactifs, et principalement par l'action des ferments, passent par une série d'états isomériques, et finissent par former un acide énergique, l'acide lactique, qui est encore isomérique avec l'amidon.

On remarquera ici, avec intérêt l'analogie de propriétés que présentent entre eux les trois corps qui paraissent le plus abondamment répandus dans l'organisation végétale, savoir : l'amidon, la cellulose et la pectose.

Ils peuvent tous trois se modifier par l'action des ferments, donner naissance, en se désagrégeant, à une série de corps isomériques, et produire en dernier lieu des acides énergiques, qui sont l'acide lactique et l'acide métapectique.

Les analyses, dont j'ai cité les résultats, démontrent en outre que les matières gélatineuses dérivent d'une molécule organique représentée par $C^8H^5O^7$ qui, en se combinant aux éléments de l'eau, représente les compositions de toutes les substances gélatineuses. Les chimistes comprendront qu'en mettant dans les formules précédentes un certain nombre d'équivalents d'eau en dehors de la molécule $C^8H^5O^7$, et en séparant ces équivalents d'eau par une virgule, je n'ai pas voulu indiquer que l'eau jouât, dans ce cas, le rôle d'eau basique; mon but a été seulement de mettre en évidence les relations de composition qui lient entre elles les substances gélatineuses des végétaux, et de montrer que ces corps ne diffèrent réellement entre eux que par l'eau.

Je crois devoir maintenant aller moi-même au-devant des objections que l'on pourrait adresser aux résultats analytiques que je viens de présenter.

1° En considérant les propriétés communes que présentent les corps qui, se-

lon moi, constituent la série des substances gélatineuses, et les difficultés que l'on doit éprouver à les séparer les uns des autres, on pourrait mettre en doute l'existence des principes immédiats dont j'ai décrit les propriétés dans ce Mémoire, ou les considérer comme des mélanges et non comme des corps bien définis.

Je répondrai à cette première objection que, tout en reconnaissant les difficultés que présente la purification des corps organiques incristallisables, je me suis toujours attaché à spécifier les principes immédiats dont j'admettais l'existence par des propriétés tout à fait caractéristiques, et qui pussent servir à les distinguer de ceux qui les précédaient et qui les suivaient dans la série. Ainsi la pectine et la parapectine se distinguent l'une de l'autre au moyen de l'acétate neutre de plomb qui précipite la parapectine, et qui ne précipite pas la pectine. La métapectine ne peut être confondue avec les deux corps précédents ; elle est acide aux réactifs colorés, et se trouve précipitée par le chlorure de baryum.

Les deux acides gélatineux, l'acide pectosique et l'acide pectique, sont distingués l'un de l'autre par la solubilité de l'acide pectosique dans l'eau bouillante, et l'insolubilité presque complète de l'acide pectique. Enfin les deux acides, parapectique et métapectique, qui sont solubles dans l'eau, se comportent différemment en présence des réactifs : le premier est précipité par l'eau de baryte, tandis que le second n'est pas précipité par ce réactif.

Je crois donc pouvoir avancer avec certitude que les chimistes qui voudront bien reprendre mes expériences reconnaîtront que je n'ai pas exagéré le nombre des dérivés de la pectine; peut-être même trouveront-ils que la série des corps gélatineux est plus nombreuse que je ne l'ai indiqué dans ce Mémoire.

2° On pourrait également mettre en doute l'exactitude de mes résultats analytiques en se fondant sur la difficulté que présente l'analyse des corps incristallisables, et la détermination des capacité de saturation d'acides qui se modifient par l'action de l'eau ou par celle des bases, et qui ne forment pas de sels cristallisables.

Je comprends tout ce qu'une pareille objection peut avoir de sérieux, et je ne penserai pas à en nier l'importance en présence des difficultés que m'a présentées la partie analytique de ce travail. Mais je dois déclarer que j'ai fait tous mes efforts pour éviter, autant qu'il était en mon pouvoir, les causes d'erreur qu'entraîne toujours l'analyse des corps incristallisables.

Toutes mes combustions ont été faites dans une atmosphère d'oxygène. Mes analyses ont été répétées un grand nombre de fois sur des corps préparés dans des circonstances très différentes, etc., etc. Je me suis efforcé, en outre, de confirmer des résultats analytiques qui pouvaient être douteux, par des expériences qui me paraissaient positives. Ainsi on a vu que l'analyse des corps gélatineux m'a constamment donné une proportion d'hydrogène qui est moins forte que celle qui existe dans la cellulose. Doutant de ce résultat, et me trouvant ébranlé du reste par l'opinion de quelques chimistes qui ont avancé positivement que la pectine est isomérique avec le ligneux, j'ai essayé par tous les moyens possibles de transformer la pectine en sucre ; et ce n'est qu'après avoir reconnu que cette transformation est impossible, et que, de plus, les substances gélatineuses dif-

fèrent de la cellulose par toutes leurs propriétés, que je me suis décidé à considérer la pectine et ses dérivés comme s'écartant du ligneux par leur composition, et que j'ai admis que ces corps ne peuvent être représentés dans leur composition par du charbon et de l'eau.

Des expériences concluantes sont venues également appuyer mes analyses, qui démontraient que les corps gélatineux différaient entre eux par de l'eau et non par de l'oxygène, comme un chimiste étranger l'avait annoncé.

J'ai pris, en effet, de la pectine, et la plaçant dans un flacon hermétiquement fermé, en présence de la pectose, je l'ai vue passer successivement par toutes les phases qui caractérisent la série des corps gélatineux, et se transformer finalement en acide métapectique sans donner naissance à d'autres produits. Cette expérience prouvait d'une manière évidente que l'eau seule intervenait dans les modifications des corps gélatineux.

Quant aux nombres qui représentent la capacité de saturation des corps gélatineux, je dois déclarer que les résultats qui ont été consignés dans mon Mémoire expriment la moyenne d'un grand nombre d'expériences; j'ai donc lieu de croire qu'ils sont exacts : cependant je ne peux répondre de leur exactitude qu'à un centième près, en raison de la facilité avec laquelle s'altèrent les corps gélatineux en présence de l'eau et des bases.

Mais ce qui ne peut être douteux pour personne, et ce qui me paraît ici le point capital à constater, c'est que la capacité de saturation des corps gélatineux augmente à mesure que ces corps s'éloignent de la pectine, c'est-à-dire de la substance qui se rapproche le plus des corps organisés.

Réponse à quelques assertions qui ont été émises récemment sur les propriétés et la composition des corps gélatineux des végétaux.

Un chimiste étranger a cherché à établir que la pectine et l'acide pectique dérivaient d'un même radical différemment oxydé. D'après ce chimiste, la pectine aurait pour formule

$$C^{28}H^{21}O^{24},$$

et l'acide pectique

$$C^{28}H^{21}O^{26}.$$

Ce rapport de composition me paraît inadmissible; car il résulte de mes expériences que la pectine se transforme en acide pectique à l'abri de l'oxygène, sans dégagement d'hydrogène, et qu'il ne se produit dans cette transformation aucun corps secondaire.

Le même chimiste avait avancé que la transformation de l'acide pectique en un acide soluble dans l'eau ne présentait pas la netteté que j'avais admise dans mes premières recherches sur l'acide pectique, et qu'il se formait du sucre dans cette réaction. Pour répondre à cette objection, j'ai modifié l'acide pectique par l'action seule de l'eau; en maintenant de l'acide pectique pendant sept ou huit jours dans l'eau bouillante, j'ai vu cet acide disparaître peu à peu, et se changer en un acide très-soluble dont la dissolution était incolore. Les réactifs les plus sensibles n'ont pu constater dans la liqueur, même des traces de sucre : la

transformation isomérique de l'acide pectique en un acide soluble dans l'eau me paraît donc désormais incontestable.

Plusieurs chimistes ont paru admettre, dans ces derniers temps, que la pectine et l'acide pectique étaient identiques ; que ces substances devaient être assimilées aux corps neutres, tels que les gommes, la cellulose, la dextrine ; et que si l'acide pectique présentait quelques caractères acides, c'est qu'il retenait avec opiniâtreté les acides qui avaient été employés à sa préparation. Ils ont avancé, en outre, que la pectine était isomérique avec le ligneux.

Je dois dire ici que toutes les expériences que j'ai faites, et qui sont consignées dans ce Mémoire, se trouvent en opposition positive avec les assertions que je viens de rappeler. Les faits que j'ai observés me paraissent si nets, que je suis persuadé que les chimistes auxquels je réponds reconnaîtront leur erreur lorsqu'ils voudront bien répéter mes expériences.

J'appellerai principalement leur attention sur les points suivants :

1° Ils admettent que la pectine est isomérique avec la cellulose : mais toutes mes analyses et celles qu'ils ont faites eux-mêmes et qu'ils citent dans leurs Mémoires, démontrent que la pectine contient moins d'hydrogène que la cellulose; or, en supposant une erreur dans une analyse ou une combustion incomplète, trouve-t-on jamais moins d'hydrogène que n'en indique la théorie ? Si la pectine était représentée dans sa composition par du carbone et de l'eau, il est probable qu'elle se transformerait en sucre sous l'influence de l'acide sulfurique. En traitant de la pectine *pure* par de l'acide sulfurique, on l'altère, mais on ne produit pas de traces de sucre : j'ai répété cette expérience un grand nombre de fois, et j'ai reconnu que la formation du sucre qui avait été annoncée dans cette réaction, était due à la présence de l'amidon qui se trouve souvent dans la pectine impure.

Si la pectine ne différait de la cellulose que par son organisation, comme on l'a dit, ces deux substances auraient des propriétés communes : or, j'ai constaté que ces deux corps différaient entre eux par tous leurs caractères. La cellulose est remarquable par sa stabilité; la pectine, au contraire, s'altère sous les influences les plus faibles, sous l'action des acides étendus et même par celle de l'eau bouillante.

La pectine et la cellulose ne sont donc pas identiques.

2° Quant à l'acidité de l'acide pectique, qui a été mise en doute, cette acidité ne me paraît pas plus douteuse que celle de tous les autres acides organiques. Pour reconnaître que l'acidité de l'acide pectique n'est pas due à un acide étranger, il suffit de préparer avec soin de l'acide pectique, de l'engager en combinaison avec une base, de purifier le pectate ainsi formé, de le décomposer ensuite, comme je l'ai fait plusieurs fois, par de l'acide chlorydrique; de laver l'acide pectique à l'eau distillée jusqu'à ce que l'eau de lavage ne précipite plus par l'azotate d'argent; de brûler l'acide pectique dans un tube contenant de la chaux pure, et de dissoudre cette chaux dans l'acide azotique. On ne trouve pas, dans la liqueur, de traces d'acide chlorhydrique. Il me paraît donc impossible qu'un chimiste puisse nier l'acidité de l'acide pectique : l'acide pectique ne retient l'acide employé à le précipiter, que lorsqu'on ne l'a pas lavé avec soin.

3° On a admis, dans le tissu des végétaux, l'existence d'un principe immédiat

insoluble, qui ne produirait pas de pectine par l'action des acides, mais qui se transformerait en acide pectique sous l'influence des alcalis. Je sais que les pulpes de fruits ou de racines, traitées à plusieurs reprises par des acides, produisent d'abord de la pectine, et donnent ensuite des pectates quand on les soumet ensuite à l'action des alcalis : j'avais fait moi-même cette observation depuis longtemps ; mais cette expérience ne démontre nullement l'existence d'un principe nouveau dans le tissu des végétaux.

En traitant des pulpes de carottes par un acide, on décompose simplement la petite quantité de pectate de chaux insoluble qui s'y trouve, et on élimine de l'acide pectique qui se dissout dans les liqueurs alcalines. Le prétendu corps nouveau ne me paraît être que du pectate de chaux.

4° En se fondant sur les difficultés que présente la purification de la pectine, et en voyant que cette substance peut retenir souvent plusieurs centièmes de corps inorganiques, on a avancé que ces corps faisaient partie de la pectine : on a confondu ainsi un mélange de plusieurs corps organiques et inorganiques avec un principe immédiat. On a même été jusqu'à faire jouer un rôle mystérieux au fer qui se trouve en petite quantité dans les cendres de la pectine ! Pour répondre à cette assertion, je crois qu'il me suffit de renvoyer à la partie de ce Mémoire qui traite de la purification de la pectine.

Je crois donc avoir examiné sérieusement toutes les objections qui m'ont été faites ; j'ai profité des observations qui m'ont paru bonnes, et j'ai essayé de réfuter, par des expériences positives, celles qui me paraissaient erronées. Je ne m'étonne nullement, du reste, des opinions différentes qui ont été émises sur les propriétés des substances gélatineuses des végétaux. Leur étude présente, je l'avoue, des difficultés que je n'avais jamais rencontrées dans les différents sujets de chimie organique que j'ai traités jusqu'à présent. Je crois, par ce travail, avoir fait avancer la question, mais je n'ai nullement la prétention de l'avoir résolue complètement ; et je désire beaucoup que d'autres chimistes étendent et rectifient au besoin les observations que j'ai faites.

Action de la chaleur sur les fruits. Production des gelées végétales.

Les faits qui précèdent permettent d'expliquer facilement les modifications qu'éprouvent les fruits quand on les expose à l'action de la chaleur.

La pectine qui se trouve en abondance dans le suc d'un fruit cuit, résulte, d'après mes observations, de l'action des acides du fruit sur la pectose contenue dans les cellules. Pour s'en assurer, il suffit d'enlever, par des lavages, le suc acide d'un fruit encore vert, et de le remplacer par de l'eau pure : on peut alors faire bouillir pendant plusieurs heures l'eau qui tient en suspension les pulpes de fruit sans produire de traces de pectine, tandis que la pectine se forme aussitôt quand on ajoute dans la liqueur une petite quantité d'un acide soluble.

Tout le monde sait que le suc de certains fruits cuits abandonné à lui-même se prend, au bout d'un certain temps, en une gelée incolore,

J'avais essayé déjà, dans mon premier Mémoire sur l'acide pectique, d'expliquer la production des gelées végétales. J'avais admis, à cette époque, que la pectose des fruits, réagissant sur la pectine, la transformait en acide pectique qui produisait alors la gelée végétale. Cette explication était exacte, mais elle ne s'appliquait pas à tous les cas. On sait, en effet, que lorsqu'une gelée ne présente pas une consistance suffisante, on peut la faire redissoudre de nouveau : or l'acide pectique étant insoluble dans l'eau, il était difficile d'admettre que cet acide pût se dissoudre dans l'eau sous l'influence de la chaleur, et constituer de nouveau une gelée par le refroidissement de la liqueur.

Les faits consignés dans ce Mémoire me permettent maintenant de rendre compte de la production de toutes les gelées végétales.

Il peut arriver d'abord que la pectase des fruits, entrant en dissolution, réagisse sur la pectine qui s'est produite par l'action des acides sur la pectose et la transforme en acide pectique gélatineux : je me suis assuré, en effet, que l'on forme de très belles gelées en introduisant de la pectase dans des dissolutions de pectine.

Mais, le plus souvent, les gelées végétales sont dues à la formation de l'acide pectosique. Cet acide est, en effet, soluble dans l'eau bouillante ; sa dissolution se prend en gelée par le refroidissement. L'acide pectosique se produit du reste, comme on le sait, dans la réaction de la pectase sur la pectine.

Ainsi, lorsqu'on fait bouillir dans l'eau des fruits tels que les pommes, l'acide malique transforme d'abord la pectose en pectine, cette pectine une fois formée, en présence de la pectase, produit de l'acide pectosique qui se dissout dans le suc bouillant et le rend gélatineux par le refroidissement.

Mais cette réaction n'est pas la seule qui puisse donner naissance à des gelées végétales ; ces gelées peuvent aussi résulter de la combinaison de l'acide pectique avec les sels neutres qui existent dans les fruits. J'ai obtenu souvent des gelées végétales très consistantes en faisant dissoudre à chaud de l'acide pectique dans des sels organiques solubles.

J'attribue donc la production des gelées végétales, 1° à la transformation de la pectine en acide pectique par l'action de la pectase ;

2° A la formation de l'acide pectosique par l'action plus ou moins prolongée de la pectase sur la pectine ;

3° A la dissolution de l'acide pectique dans les sels organiques contenus dans les fruits.

Il arrive souvent qu'un suc de groseilles se prend très-rapidement en gelée quand on le mélange à du suc de framboises : cette production instantanée de gelée est facile à comprendre ; il résulte en effet de mes observations, que le suc de framboises contient une quantité considérable de pectase ; ce ferment réagit sur la pectine qui se trouve dans le suc de groseilles, et la transforme en acide pectosique gélatineux.

J'avais cru, à une certaine époque, que les gelées végétales étaient produites par une désagrégation incomplète de la pectose qui, à la manière de l'amidon, pourrait se gonfler dans l'eau bouillante, rendre ensuite l'eau gélatineuse par le refroidissement, et former une espèce d'empois. Mais un examen attentif des différentes gelées m'a prouvé qu'elles ne pouvaient pas être considérées comme

la pectose incomplètement désagrégée, et qu'elles présentaient toujours, soit les caractères des acides pectique et pectosique, ou ceux d'une combinaison d'acide pectique avec un sel neutre.

En résumé, lorsqu'un fruit, tel qu'une poire, une pomme, une prune, est soumis à l'action de la chaleur en présence de l'eau, il éprouve les modifications suivantes : l'acide qu'il contient, et qui est ordinairement un mélange d'acide malique et d'acide citrique, réagit d'abord sur la pectose, et la transforme en pectine ; une partie de cette pectine reste dans le suc, lui donne de la viscosité, et masque par sa présence l'acidité du fruit. En outre, la pectase agissant sur la pectine produit une certaine quantité d'acide pectosique qui se prend en gelée par le refroidissement. Si l'action de la pectase est prolongée, l'acide pectosique peut se changer en acide pectique.

Lorsque le fruit est chauffé rapidement, la pectase se trouve aussitôt coagulée, perd son efficacité, et n'agit plus sur la pectine.

Dans la coction d'un fruit, la pectose est seule altérée, tandis que la cellulose n'éprouve aucune modification.

Modifications des substances gélatineuses pendant la maturation des fruits.

Lorsqu'on examine les sucs de fruits verts, tels que ceux de pommes, de poires, de prunes, de groseilles, on n'y trouve pas de traces de pectine ; le précipité peu abondant que ces sucs produisent, quand on les traite par l'alcool, est uniquement dû à la précipitation d'une matière albumineuse. Les pulpes de ces fruits verts contiennent de la pectose ; en les faisant bouillir dans une liqueur acide, on en retire des quantités considérables de pectine. Un fruit vert ne contient donc que de la pectose.

A mesure que la maturation s'avance, le fruit perd, peu à peu, sa dureté ; les cellules se distendent, prennent une demi-transparence, et l'on trouve alors, dans le suc du fruit, de la pectine qui ne précipite pas l'acétate neutre de plomb. Quand le fruit est mûr, le suc du fruit est devenu gommeux ; on y trouve en abondance de la pectine, et surtout de la parapectine précipitant par l'acétate de plomb. A cette époque, les pulpes, lavés avec soin, ne contiennent plus sensiblement de pectose ; cette substance s'est changée, pendant la maturation des fruits, en pectine et en parapectine. Enfin, si l'on examine le suc d'un fruit prêt à se décomposer, comme celui d'une *poire blette* par exemple, on n'y retrouve plus souvent de traces de pectine : cette substance s'est transformée en acide métapectique, qui est saturé par la potasse ou la chaux. J'ai pu retirer du suc de poires blettes de l'acide métapectique présentant la composition et les propriétés que j'ai assignées à cet acide. J'ai également retrouvé l'acide métapectique dans les mélasses de betteraves et de cannes à sucre. On doit donc considérer cet acide comme répandu en abondance dans les végétaux : il existe toujours dans le suc des fruits qui ont contenu de la pectose et de la pectine quand ils étaient verts.

On voit que, pendant l'acte de la végétation, les substances gélatineuses éprouvent une série de modifications qui sont précisément celles que j'ai pro-

duites artificiellement en soumettant ces différents corps à l'action successive des acides, de l'eau, des alcalis ou de la pectase.

Les réactions chimiques, employées avec ménagement, peuvent donc reproduire quelques-uns des changements qui s'opèrent dans les végétaux.

Il me paraît évident que les modifications des substances gélatineuses s'opèrent dans les fruits sous l'influence simultanée des acides et de la pectase : les acides transforment la pectose en pectine, et c'est la pectase qui change la pectine en acide métapectique. Cette conclusion ressort naturellement des faits suivants:

1° Les fruits verts contiennent de la pectose ;

2° Les acides des fruits peuvent transformer la pectose en pectine;

3° La pectine se change, pendant la maturation, en acide métapectique ;

4° La pectase qui se trouve dans les fruits peut transformer, à la longue, la pectine en acide métapectique.

Après avoir examiné les propriétés chimiques des corps gélatineux, et comparé les transformations qu'ils éprouvent sous l'influence des réactifs chimiques ou des agents naturels, je présenterai, en terminant, quelques considérations sur le rôle chimique qu'ils peuvent jouer dans l'organisation végétale.

On sait que les cellules des fruits verts sont en général dures, opaques et consistantes, tandis que la cellule d'un fruit mûr est molle et transparente. Ce changement d'état de la cellule s'observe constamment à l'époque de la maturation d'un fruit.

Les propriétés bien connues de la cellulose ne permettent pas de supposer que ce soit elle qui, en se dissolvant par l'action des acides végétaux, fasse changer la consistance de la cellule. J'ai reconnu, en effet, que les acides organiqes les plus forts n'exerçaient pas d'action appréciable sur la cellulose.

La substance solide qui se trouve en abondance dans la cellule d'un fruit vert, et qui disparaît pendant la maturation, est la pectose. Comme la transformation de la pectose ne peut se produire que par l'action simultanée des acides et de la chaleur, ce n'est qu'au moment des chaleurs que les fruits *tournent*, c'est-à-dire que les cellules deviennent transparentes, et que la pectose se change en pectine.

Cette pectine, qui se développe au moment de la maturation, masque, par sa viscosité, l'acide qui reste à l'état libre dans les fruits.

Le rôle des substances gélatineuses ne s'arrête pas là : j'ai prouvé que la pectine se transformait facilement en un acide très énergique, l'acide métapectique; j'ai reconnu également que les fruits verts, tels que les pommes, contiennent en abondance de l'amidon, qui disparaît au moment de la maturation, et se change en glucose sous l'influence des acides du fruit. Si dans un fruit l'acide faisait défaut, la pectine fonctionnant alors comme une réserve d'acide, pourrait, au besoin, se changer en acide métapectique, ayant alors la propriété de transformer l'amidon en sucre.

Les corps gélatineux peuvent donc être considérés comme des corps éminemment mobiles, qui se modifient pendant la végétation. Ils sont d'abord solides, et donnent de la dureté aux cellules ; plus tard, ils deviennent gommeux, et masquent par leur présence l'acidité des fruits ; ils peuvent enfin se changer en

acides énergiques, qui jouissent de la propriété de transformer facilement l'amidon en glucose.

Rôle des substances gélatineuses dans certaines industries.

Les développements que je viens de donner sur les propriétés des corps gélatineux, démontrent suffisamment le rôle important que ces substances peuvent jouer dans l'organisation végétale.

Mais je dois faire ressortir aussi l'intérêt qui s'attache à l'étude des corps gélatineux, considérée au point de vue de certaines industries.

J'ai dit précédemment que ce sont les corps gélatineux qui, dans l'organisation végétale, relient entre elles les fibres textiles des plantes, fonctionnent alors comme un véritable ciment.

Lorsque ce ciment organique disparaît, les fibres élémentaires sont mises en liberté : les opérations du rouissage et du blanchiment reposent donc en partie sur l'élimination des substances gélatineuses.

La dissolution complète du ciment végétal qui soude les fibres des végétaux, permet d'employer ces corps une fois purifiés, dans la fabrication du fulmicoton.

La fabrication du sucre de betteraves doit prendre aussi en grande considération les propriétés des corps gélatineux que j'ai décrites dans mes recherches.

J'ai démontré, en effet, que le tissu des betteraves contient des quantités très notables de pectose qui, sous des influences diverses, peut se changer en acides pectique ou métapectique et nuire alors à la fabrication du sucre.

J'ai eu souvent l'occasion de démontrer aux fabricants de sucre, qu'ils devaient bien se garder de mettre de la chaux sur les pulpes de betteraves pour faciliter l'extraction du jus.

Par l'action de la chaux, la pectose, qui se trouve dans la pulpe, se transforme en métapectate de chaux soluble, qui devient brun par l'action de la chaleur et qui, en restant dans les sirops, s'oppose à la cristallisation du sucre.

Je viens de résumer la première partie de mes recherches qui ont pour but de faire connaître les propriétés et la composition du squelette des végétaux.

Dans la seconde partie, j'étudierai quelques-uns des corps qui se trouvent dans l'intérieur des cellules et qui jouent un rôle important dans l'organisation végétale.

DEUXIÈME PARTIE

§ 1

RECHERCHES CHIMIQUES SUR LA MATIÈRE VERTE DES FEUILLES

Je me propose d'étudier ici un des corps les plus importants de l'organisation végétale, je veux parler de la matière verte qui existe dans les feuilles et que les chimistes désignent sous le nom de *chlorophylle* (1).

Quelle est la constitution de cette curieuse substance qui, pendant la vie des feuilles, paraît jouer un rôle dans la décomposition de l'acide carbonique par les plantes, et qu'on peut comparer, pour plusieurs de ses propriétés, à la matière rouge du sang : doit-on la considérer comme un principe immédiat unique, ou comme un mélange d'un corps bleu ou vert avec un corps jaune?

Si la chlorophylle est formée, comme je vais le démontrer, par deux principes différents, quels sont les caractères chimiques de ces deux corps; sont-ils neutres, acides, basiques ou salins; dérivent-ils de la même substance différemment modifiée par la végétation?

Ces questions, qui intéressent à un haut degré la physiologie végétale, présentent encore bien des obscurités que je vais essayer de dissiper par mes recherches.

Je rappellerai d'abord que mes travaux précédents sur la chlorophylle tendaient à prouver que cette matière colorante n'était pas simple et qu'elle était formée de deux principes immédiats, l'un jaune que j'ai nommé *phylloxanthine*, l'autre d'un vert foncé et bleuâtre que j'ai désigné sous le nom d'acide *phyllocyanique*.

Pour démontrer l'existence de ces deux principes immédiats, dans la matière colorante des feuilles, je me fonde sur les expériences suivantes :

1° Je prépare des alcools de différents degrés en mêlant l'alcool absolu à des quantités d'eau variables, et je soumets la chlorophylle des feuilles à ces alcools qui, dans l'analyse immédiate, agissent comme des dissolvants différents.

J'ai reconnu qu'en faisant usage de l'alcool à 62 degrés, je pouvais extraire

(1) Il ne faut pas confondre la chlorophylle des chimistes avec celle des botanistes, qui est organisée et vivante.

des feuilles vertes une matière absolument jaune qui est la phylloxanthine, et laisser, dans le tissu organique, l'acide phyllocyanique, dont la teinte se fonce de plus en plus en se séparant du principe jaune, et qui ne se dissout que par l'action de l'alcool à 70 degrés.

Ainsi des alcools, différemment concentrés, permettent d'extraire de la chlorophylle deux sortes de matière colorante.

2° Un autre essai sur la laque alumineuse de chlorophylle, se comportant dans ce cas comme le tissu vert des végétaux, m'a conduit au même résultat que celui qui précède.

Au lieu d'agir sur le tissu des feuilles, j'opère sur une laque de chlorophylle à base d'alumine et je la traite par l'alcool à 62 degrés : dans ce cas la phylloxanthine abandonne l'alumine et entre en dissolution dans l'alcool faible, tandis que l'acide phyllocyanique reste combiné à l'alumine et n'en est séparé que par l'action de l'alcool plus concentré.

L'emploi des dissolvants neutres démontre donc déjà la présence de deux matières colorantes dans la chlorophylle.

Les réactifs acides et basiques confirment les faits que je viens de rappeler et m'ont permis de dédoubler la chlorophylle d'une manière plus nette encore.

3° Opérant sur la dissolution de chlorophylle dans l'alcool, je la traite par un mélange d'acide chlorhydrique et d'éther : l'éther s'empare de la phylloxanthine et se colore en jaune, tandis que l'acide chlorhydrique dissout l'acide phyllocyanique et prend une belle teinte bleue : dans ce cas encore la séparation des deux matières colorantes est produite : pour faire cette expérience à coup sûr, il faut traiter la dissolution alcoolique de chlorophylle par de l'acide chlorydrique étendu de la moitié de son volume d'eau et n'ajouter l'éther qu'en dernier lieu.

4° Enfin, comme dernière démonstration de la nature complexe de la chlorophylle, je citerai l'expérience suivante, qui consiste à verser dans une dissolution alcoolique de cette substance quelques gouttes d'eau de baryte : la base forme avec l'acide phyllocyanique un sel d'un vert foncé qui est insoluble dans l'alcool, tandis que l'alcool prend une belle coloration d'un jaune d'or, qui est due à la dissolution, dans l'alcool, de la phylloxanthine débarrassée de l'acide phyllocyanique.

Tous ces faits me paraissent donc démontrer que la matière colorante des feuilles contient une substance jaune, la phylloxanthine, et une substance verte, l'acide phyllocyanique.

Ces points étant établis, j'avais à examiner sous quel état ces deux corps se trouvent dans le tissu organique. Sont-ils en simple mélange ou en combinaison entre eux; se trouvent-ils en suspension dans les liquides ou combinés aux tissus?

Dans ma dernière communication, j'avais admis que les deux matières colorantes des feuilles étaient unies entre elles, et je comparais leur séparation, sous l'influence de la baryte ou de la chaux, à une espèce de saponification.

Aujourd'hui, prenant en considération les quantités très faibles d'alcali qu'il faut employer pour extraire les deux principes colorés des feuilles, et étudiant de nouveau l'action des dissolvants neutres soit sur les tissus organiques, soit

sur la laque alumineuse de chlorophylle, je suis porté à croire que les deux matières colorantes se trouvent dans les feuilles à l'état de simple mélange.

Il me restait à examiner si dans l'organisation végétale l'acide phyllocyanique est isolé, s'il est combiné à quelques bases ou s'il se trouve uni au tissu organique.

Pour résoudre ces différentes questions, j'ai eu l'idée de rechercher la présence des bases minérales dans la dissolution alcoolique de la chlorophylle des feuilles.

A ma grande surprise, j'ai trouvé dans cette liqueur alcoolique verte des quantités de potasse très notables, et j'ai reconnu que la proportion d'alcali était d'autant plus forte que le liquide était plus coloré; évaporant la liqueur et calcinant le résidu, j'ai obtenu du carbonate de potasse sensiblement pur.

La matière verte des végétaux pouvait donc être du phyllocyanate de potasse.

Mais pour tirer une pareille conclusion des faits que j'avais observés, il ne suffisait pas de constater la présence de la potasse dans la dissolution alcoolique de chlorophylle, car plusieurs sels organiques de potasse contenus dans les feuilles peuvent se dissoudre dans l'alcool; il fallait surtout combiner l'acide phyllocyanique à la potasse, produire synthétiquement le phyllocyanate de potasse et démontrer l'identité de ce sel avec la chlorophylle des feuilles.

Ici se présentait une difficulté sérieuse : j'étudie déjà depuis longtemps la chlorophylle et cependant je ne suis pas encore arrivé à obtenir l'acide phyllocyanique à l'état de pureté; c'est ce qui m'a empêché, jusqu'à présent, de faire connaître la composition de ce corps : dès que j'essaie de l'isoler par l'action des acides, il s'altère profondément, perd sa couleur verte et devient brun; cette décomposition rappelle celle de la substance rouge du sang par l'action des acides.

Je ne pouvais donc pas combiner directement l'acide phyllocyanique à la potasse; mais le phyllocyanate de baryte, que j'avais obtenu en traitant la chlorophylle par l'eau de baryte, devait heureusement me permettre de préparer le phyllocyanate de potasse et de le comparer à la chlorophylle naturelle.

J'essayai d'abord inutilement d'isoler l'acide phyllocyanique, en décomposant le sel de baryte par l'acide carbonique ou par les acides organiques les plus faibles; dans ce dernier cas, le corps organique fut toujours altéré; quant à l'acide carbonique, il ne décompose pas le sel de baryte.

Je pensai alors à une double décomposition, dans laquelle le phyllocyanate de baryte serait décomposé par un sel de potasse, dont l'acide pourrait former un sel insoluble avec la baryte; j'employai dans ce but le sulfate de potasse, et l'expérience eut un plein succès.

Opérant en présence de l'alcool et traitant le phyllocyanate de baryte par une petite quantité de sulfate de potasse, j'obtins du sulfate de baryte insoluble et du phyllocyanate de potasse qui, en se dissolvant dans l'alcool, communiqua au liquide une couleur verte magnifique : les sulfates de soude et d'ammoniaque agissent de la même manière.

Une partie du problème était donc résolue : j'étais arrivé à produire une substance verte, en combinant d'une manière détournée l'acide phyllocyanique à

la potasse ; il me restait à démontrer l'identité de ce sel vert avec la matière verte des feuilles.

Or, en comparant les propriétés de ces deux corps, cette identité m'a paru incontestable.

En effet, le phyllocyanate de potasse, semblable à la chlorophylle, est soluble dans l'alcool, dans l'éther et dans les carbures d'hydrogène liquides qu'il colore en vert : il brunit et se trouve décomposé par l'action des acides ; sa dissolution alcoolique, comme celle de la chlorophylle, est précipitée par la baryte, la chaux et le sous-acétate de plomb.

Soumis à l'inspection spectroscopique, le phyllocyanate de potasse donne la raie noire caractéristique d'absorption, placée au milieu de la partie rouge du spectre et qui a été si bien observée par M. Chautard dans son travail sur la chlorophylle.

En un mot, la dissolution alcoolique de phyllocyanate de potasse présente réellement les caractères de la substance verte des feuilles dissoutes dans l'alcool.

Il est cependant une propriété qui semble éloigner la chlorophylle du phyllocyanate de potasse : ce dernier sel est soluble dans l'eau. sous l'influence d'un excès de base alcaline, tandis que l'eau n'enlève pas au tissu des feuilles sa coloration verte.

Cette différence peut être facilement expliquée : j'ai reconnu en effet que, si l'eau n'enlève pas au tissu des feuilles sa matière verte, et si l'alcool la dissout, c'est que, dans l'organisation végétale, la substance verte est combinée au tissu organique par affinité capillaire, et que l'alcool suffisamment concentré détruit cette combinaison, tandis qu'elle résiste à l'eau : le même fait se reproduit, comme je l'ai dit, pour la laque alumineuse de chlorophylle que l'eau ne détruit pas et que l'alcool décompose.

Voulant donner à cette explication une démonstration expérimentale rigoureuse, j'ai soumis des tissus de lin et de coton à l'action du phyllocyanate de potasse soluble ; la teinture s'est opérée immédiatement et le tissu a fixé le sel de potasse : j'ai obtenu ainsi un tissu vert comparable, pour sa coloration, à celui des feuilles et qui, comme lui, ne cédait rien à l'eau ; mais, en le traitant par de l'alcool ou de l'éther, il a, comme la feuille, abandonné immédiatement sa matière colorante aux dissolvants.

J'ajouterai, en outre, que les phyllocyanates alcalins ne sont réellement solubles dans l'eau que par l'action d'un excès de base.

Je crois donc que la démonstration est complète. et qu'il m'est permis d'affirmer aujourd'hui que la matière colorante des feuilles est un mélange de phylloxanthine et de phyllocyanate de potasse.

Telle est la conclusion de mes longues recherches sur la chlorophylle.

Il me reste, en terminant, à présenter ici une considération qui me paraît appuyer les faits qui précèdent : on sait aujourd'hui que, quand les feuilles perdent leur chlorophylle et qu'elles deviennent jaunes, elles perdent en même temps une grande partie de la potasse qu'elles contenaient d'abord ; cette observation, déjà ancienne, vient confirmer la composition de la matière verte

des feuilles telle que je l'ai donnée, puisque cette substance colorée est un sel de potasse.

Cependant il peut rester dans les feuilles, au moment où elles tombent, une petite quantité de matière colorante combinée à la potasse ; ce sel est plus stable : il se détruit sous l'influence des ferments et met la potasse en liberté.

La chlorophylle joue donc, au point de vue physiologique, un double rôle.

Pendant la vie des feuilles, sous l'influence solaire, elle détermine, comme on le sait, la décomposition de l'acide carbonique.

Lorsque les feuilles meurent et tombent, la matière colorante qui reste dans le tissu organique ne tarde pas à se détruire et restitue au sol la potasse qu'elle contenait, qui peut servir alors aux végétations nouvelles.

§ 2

SUR LES MATIÈRES COLORANTES DES FLEURS (1)

Les chimistes ne possèdent que des notions forts incomplètes sur les matières colorantes des fleurs.

Cette étude présente, il faut le reconnaître, de grandes difficultés; les substances qui colorent les fleurs sont en effet incristallisables, elles s'altèrent souvent par l'action des réactifs que l'on emploie pour les isoler, et de plus les fleurs qui présentent des teintes si vives ne doivent leur coloration qu'à des quantités très faibles de matières colorantes.

Des opinions diverses ont été émises sur la nature des substances qui colorent les fleurs ; plusieurs observateurs ont admis que les fleurs ne doivent leur couleur qu'à deux principes colorants, l'un bleu appelé *cyanique* et l'autre jaune qui a été nommé *xanthique*. D'autres ont voulu établir une relation entre la matière colorante verte des feuilles, la chlorophylle, et les substances qui colorent les fleurs ; ils s'appuyaient en général sur des considérations tirées de l'analyse élémentaire de ces différents principes immédiats: or tous les chimistes savent que la chlorophylle n'a pas encore été obtenue à l'état de pureté, elle retient probablement des quantités variables de corps gras et de substances albumineuses; de plus les matières colorantes des fleurs étaient elles-mêmes à peine connues : il était donc impossible d'établir des rapprochements basés sur la composition, nécessairement incertaine, de principes immédiats impurs.

Pendant quelque temps on a voulu attribuer la coloration bleue des fleurs à la présence de l'indigo : mais M. Chevreul a démontré d'une manière positive que la substance bleue des fleurs rougit toujours par les acides, et qu'elle s'éloigne entièrement de l'indigo qui conserve, comme on le sait, sa couleur bleue, lorsqu'on fait agir sur lui les acides les plus énergiques.

On voit donc que les matières colorantes des fleurs n'avaient été examinées jusqu'à présent que d'une manière superficielle et qu'il était important de re-

(1) Ce travail a été publié en collaboration avec M. Cloëz.

prendre leur étude : ces substances sont intéressantes pour les chimistes, puisqu'elles servent, dans le laboratoire, de réactif propre à caractériser les alcalis, et, mieux étudiées, elles pourront peut-être guider l'horticulteur dans les variétés de couleur qu'il cherche à donner aux fleurs qu'il cultive.

Nous avons pensé qu'avant d'avoir recours à l'analyse élémentaire, il fallait étudier avec soin les procédés que l'on peut employer pour extraire les matières colorantes des fleurs et rechercher si ces substances doivent être considérées comme des principes immédiats particuliers, ou si elles dérivent d'un même corps influencé d'une manière différente par les sucs des végétaux.

Matière colorante bleue des fleurs (*cyanine*).

Nous donnons à la matière bleue des fleurs le nom de *cyanine*. Pour extraire cette substance nous traitons d'abord par de l'alcool bouillant des pétales de violettes ou d'iris ; la fleur se décolore et le liquide prend immédiatement une belle teinte bleue.

Lorsqu'on laisse pendant quelque temps la matière colorante en contact avec l'alcool, on reconnaît que la teinte bleue du liquide disparaît peu à peu, et se trouve bientôt remplacée par une coloration d'un jaune brun ; la matière colorante a éprouvé dans ce cas une véritable réduction par l'action prolongée de l'alcool, mais elle peut reprendre sa couleur première lorsqu'on évapore l'alcool au contact de l'air ; il ne faudrait pas cependant laisser pendant un temps trop long l'alcool en contact avec la matière colorante, car alors l'extrait alcoolique ne reprendrait plus sa coloration bleue par l'action de l'oxygène.

Le produit de l'évaporation de l'alcool est traité par l'eau qui sépare une substance grasse et résineuse ; la dissolution aqueuse qui contient la substance colorante est alors précipitée par l'acétate neutre de plomb ; ce précipité qui possède une belle couleur verte, peut être lavé à grande eau, puis décomposé par l'acide sulfhydrique. La matière colorante reste en dissolution dans l'eau, cette liqueur est évaporée avec précaution au bain-marie, le résidu est repris par de l'alcool absolu, et enfin la liqueur alcoolique est précipitée par l'éther qui sépare la cyanine sous forme de flocons bleuâtres.

La cyanine est incristallisable, soluble dans l'eau et dans l'alcool, insoluble dans l'éther; les acides ou les sels acides la colorent immédiatement en rouge : les alcalis lui communiquent, comme on le sait, une couleur verte. La cyanine paraît se comporter comme un acide, ou du moins elle forme avec la chaux, la baryte, la strontiane, l'oxyde de plomb, etc, des composés verts qui sont insolubles dans l'eau.

Les corps avides d'oxygène, tels que l'acide sulfureux, l'acide phosphoreux, l'alcool, agissent sur elle et la décolorent; elle reprend sa coloration sous l'influence de l'oxygène.

Nous devons rappeler ici que M. Morot a retiré des bleuets une belle substance bleue, en traitant ces fleurs par l'alcool absolu.

Matière colorante rose.

Nous avons employé l'alcool pour extraire la substance qui colore en rose certains dahlias, les roses, les pivoines, etc. Le procédé que nous avons appliqué à l'extraction de cette matière colorante est exactement le même que celui qui a été employé pour obtenir la cyanine : la substance a été précipitée par l'acétate neutre de plomb, puis purifiée au moyen de l'alcool absolu et de l'éther.

En comparant attentivement les propriétés de cette matière colorante avec celles de la cyanine, nous avons reconnu que la matière colorante rose est la même que la substance bleue, ou du moins qu'elle résulte de la modification du même principe immédiat; elle se présente sous la modification rose lorsque les sucs végétaux avec lesquels elle se trouve en contact possèdent une réaction acide. Nous avons toujours observé cette réaction acide dans les sucs de fleurs ayant une coloration rouge et rose, tandis que les sucs de fleurs bleues out toujours présenté une réaction neutre.

Nous avons soumis à l'influence des alcalis la plupart des fleurs colorées en rose et en rouge, qui sont cultivées au Muséum, et nous les avons vues, sous l'action des alcalis, se colorer d'abord en bleu et ensuite en beau vert.

Il n'est pas rare de voir certaines fleurs roses, comme les mauves et particulièrement l'*hibiscus syriacus*, prendre une coloration bleue et ensuite verte en se flétrissant; ce changement est dû, comme nous l'avons reconnu, à la décomposition d'une substance organique azotée, qui est très abondante dans les pétales de la fleur. Ce corps, en se détruisant, produit de l'ammoniaque qui donne aux fleurs les teintes bleues ou vertes qui se manifestent lorsque la fleur se flétrit ; l'action d'un acide faible rend, du reste, aux pétales leur couleur rose.

Le changement de couleur de certaines fleurs roses peut encore s'observer lorsque des pétales éprouvent une dessiccation très rapide, dans le vide par exemple; il est alors difficile d'admettre qu'une substance organique azotée ait éprouvé une décomposition assez avancée pour donner de l'ammoniaque; mais il est à remarquer d'abord que, dans ce cas, les modifications de teinte tirent sur le violet, et n'arrivent jamais jusqu'au vert, et qu'ensuite elles sont toujours accompagnées d'un dégagement d'acide carbonique, que nous avons constaté par une expérience directe. Ainsi les pétales qui étaient d'abord roses, et qui par une légère dessication deviennent violets, dégagent de l'acide carbonique ; on peut donc admettre cet acide carbonique qui maintenait dans la fleur la couleur rose, et qui en se dégageant a laissé prendre aux pétales la teinte bleue qui caractérise les fleurs dont les sucs sont neutres.

Nous croyons donc pouvoir avancer ici avec certitude que les fleurs qui présentent des teintes roses, violettes ou bleues, doivent leur coloration à la même substance, différemment influencée par les sucs des fleurs.

Les fleurs rouges écarlates contiennent également la cyanine rougie par un acide; mais alors cette substance est mélangée aux matières colorantes jaunes que nous allons décrire.

Matières colorantes jaunes.

Les expériences les plus simples démontrent qu'il n'existe aucune analogie entre la substance qui colore les fleurs en jaune et celle dont nous avons parlé précédemment; les réactifs ne peuvent, dans aucun cas, communiquer aux substances jaunes que l'on extrait des fleurs les teintes bleues, roses ou vertes qui se produisent si facilement avec la cyanine.

En examinant les différentes fleurs colorées en jaune, nous avons reconnu qu'elles doivent leur coloration à des substances qui diffèrent entre elles par leurs propriétés, et qui ne paraissent pas dériver du même principe immédiat; l'une est complétement insoluble dans l'eau, nous la nommons *xanthine*; le nom de xanthine a été donné par Runge à une matière jaune extraite de la racine de garance. Comme ce nom n'a pas été adopté dans la science, nous avons cru pouvoir nous en servir pour désigner un des principes colorants des fleurs jaunes. L'autre est très soluble, nous l'appelons *xanthéine.*

Matière colorante jaune insoluble dans l'eau (*xanthine*).

Nous avons extrait cette matière colorante de plusieurs fleurs jaunes, mais principalement du grand soleil (*heliantus annuus*).

Pour l'obtenir, nous traitons les fleurs par l'alcool bouillant et absolu qui dissout à chaud la matière colorante et la laisse déposer presque complètement par le refroidissement. Le dépôt jaune que l'on obtient ainsi n'est pas la xanthine pure, il contient une quantité assez considérable d'huile; pour enlever ce corps gras, nous avons eu recours à une saponification ménagée : nous faisons donc chauffer le précipité jaune avec une petite quantité d'alcali afin de saponifier le corps gras mélangé à la xanthine et qui tient même en dissolution cette substance. Comme la matière colorante est soluble dans une eau savonneuse, nous ne reprenons pas la masse par de l'eau, mais nous la décomposons par un acide qui isole les acides gras résultant de la saponification de la xanthine; nous traitons ce précipité par l'alcool froid, qui dissout les acides gras et laisse la xanthine. Cette substance est d'un beau jaune; elle est insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et dans l'éther qu'elle colore en jaune d'or.

Elle paraît incristallisable et présente les propriétés générales des résines.

C'est la xanthine, qui, mélangée dans des proportions variables à la cyanine, différemment modifiée par les sucs végétaux, donne aux fleurs les colorations orangées, écarlates et rouges.

Matière colorante jaune soluble dans l'eau (*xanthéine*).

Lorsqu'on extrait la substance qui colore en jaune certains dahlias, on reconnaît immédiatement qu'elle ne présente aucune analogie avec la xanthine; cette dernière est, comme on le sait, insoluble dans l'eau, tandis que le principe colo-

rant dont nous allons parler est très soluble dans l'eau ; nous le nommons *xanthéine*.

Pour obtenir la xanthéine, nous traitons les pétales de dahlias jaunes par de l'alcool, qui dissout rapidement la matière colorante jaune et de plus des corps gras et résineux : la liqueur est évaporée à sec ; le résidu est repris par l'eau qui précipite les résines et les corps gras ; cette liqueur est évaporée de nouveau à sec, le résidu est soumis à l'action de l'alcool absolu ; cette dissolution étendue d'eau est traitée par l'acétate neutre de plomb qui précipite la matière colorante ; le sel de plomb est ensuite décomposé par l'acide sulfurique ; la xanthéine reste en dissolution dans l'eau ; elle est enfin purifiée par l'alcool.

La xanthéine est soluble dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther, mais ne cristallise dans aucun de ces dissolvants. Les alcalis lui communiquent une coloration brune très riche ; son pouvoir tinctorial est considérable ; elle produit sur les différents tissus des tons jaunes qui ne manquent pas de vivacité.

Les acides font disparaître la coloration brune qui s'était manifestée par l'action des alcalis. La xanthéine s'unit à la plupart des bases métalliques et forme des laques jaunes ou brunes insolubles.

Telles sont les propriétés des substances colorantes que nous avons extraites des fleurs. Ces premières expériences démontrent que les matières colorantes jaunes sont entièrement différentes de celles qui colorent les fleurs en rose ou en bleu ; ce fait se trouve d'accord, du reste, avec toutes les observations qui ont été faites depuis longtemps sur la coloration des fleurs. On sait, en effet, que les fleurs bleues peuvent devenir rouges ou même blanches lorsque la couleur se détruit complètement, mais elles ne passent jamais au jaune ; et réciproquement la fleur jaune ne devient jamais bleue. Il n'est pas rare de voir une fleur de couleur orangée devenir rouge ; c'est qu'alors la xanthine s'est détruite et la cyanine, modifiée en rouge par les sucs végétaux, est devenue prédominante.

Nous avons donc signalé dans les fleurs l'existence de trois principes colorés, qui sont la cyanine (matière bleue ou rose), la xanthine (matière jaune insoluble dans l'eau) et la xanthéine (matière jaune soluble dans l'eau).

Ces trois substances peuvent, à l'état de pureté et plus souvent par leur mélange, produire les couleurs que l'on observe sur la plupart des fleurs ; mais nos recherches n'ont pas été suivies pendant un temps assez long pour affirmer ici que les substances que nous avons isolées soient les seules qui colorent toutes les fleurs.

---

§ 3

RECHERCHES SUR LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES BAUMES

Les différents travaux qui ont été publiés sur les baumes ont eu pour objet jusqu'à présent de faire connaître leur origine, le nombre des principes immédiats qu'ils renferment, et le moyen de les séparer les uns des autres; mais en général on s'est fort peu occupé de l'étude chimique de ces corps.

Tout le monde sait que les baumes sont en général caractérisés par la préexistence de l'acide benzoïque. Pour montrer combien les notions que l'on possède sur les baumes sont incomplètes, je dirai par avance que les baumes du Pérou et de Tolu, dans lesquels on avait cru rencontrer de l'acide benzoïque, n'en contiennent pas. Je pense du reste que les faits que je vais exposer indiqueront d'une manière suffisante la place que les baumes doivent occuper dans la série des composés organiques.

Un baume est en général un mélange de plusieurs corps. Si on consulte les analyses intéressantes qui ont été publiées par Guibourt, on verra qu'on peut rencontrer dans les baumes de l'acide benzoïque, une huile volatile et des résines de consistance variable; mais les baumes ne sont pas des corps permanents: leurs propriétés changent de jour en jour, ils s'épaississent peu à peu, et quelques-uns finissent même par se solidifier entièrement. Ce sont là sans doute des modifications importantes à étudier; j'ai tâché de reconnaître, dans ce Mémoire, sous quelles influences se produisait l'acide préexistant dans les baumes, quel était le corps qui lui donnait naissance et comment se formait la résine que l'on rencontre dans presque tous les baumes.

Pour étudier et suivre les modifications des baumes, je devais tâcher d'en trouver un qui ne fût pas encore parvenu à un état complet de solidification. En admettant qu'il y eût une certaine analogie entre la composition du baume du Pérou et celle des autres baumes, l'état liquide de ce corps me faisait espérer que l'étude de ses réactions jetterait quelque jour sur la formation des baumes.

J'ai donc examiné d'abord le baume liquide du Pérou.

Avant d'entrer dans l'étude chimique du baume du Pérou, je dois établir ici un fait qui résulte des expériences consignées dans ce travail, c'est que les baumes doivent être divisés en deux classes bien distinctes : dans la première viendront se ranger ceux qui, comme le benjoin, contiennent un principe résineux et de l'acide benzoïque, dans la seconde classe se trouvent placés ceux qui, comme les baumes du Pérou et de Tolu, présentent le même principe résineux, et qui ne fournissent plus de l'acide benzoïque, mais bien de l'acide cinnamique.

Je commencerai par étudier les baumes à acide cinnamique et je parlerai d'abord du baume du Pérou.

Baume du Pérou.

Il existe dans le commerce deux espèces de baume du Pérou : l'un est liquide et l'autre est solide. Je m'occuperai d'abord du baume liquide, parce que le baume solide n'est qu'une altération du premier. Je reviendrai ensuite sur le baume solide.

Le baume du Pérou noir est un corps fort composé ; j'ai dû avant tout m'occuper de sa purification. J'ai essayé bien des procédés, et après des essais nombreux je me suis arrêté au suivant :

Le baume du Pérou contient de l'acide cinnamique, une ou plusieurs résines et une matière huileuse.

Je commence par dissoudre le baume liquide dans de l'alcool à 36°, puis je traite la liqueur par une dissolution alcoolique de potasse. Le cinnamate de potasse qui se forme, dans ce cas, reste en dissolution dans l'alcool ; mais la combinaison de résine et de potasse se trouvant insoluble dans l'alcool, se précipite. La liqueur alcoolique représente alors une dissolution d'huile de Pérou et de cinnamate de potasse ; si on la traite par l'eau, elle laisse précipiter la matière huileuse seulement, car le cinnamate est soluble dans l'eau.

Je ne regarde pas cette huile comme entièrement pure, elle retient encore des traces de résine que la potasse ne lui a pas enlevées. Il faut la traiter par de l'huile de pétrole nouvellement rectifiée, qui ne dissout que l'huile et qui précipite la résine ; en évaporant alors la liqueur, l'huile de pétrole peut se volatiser facilement, tandis que l'huile de Pérou est fixe à la température à laquelle l'huile de pétrole distille. Il faut enfin laisser l'huile plusieurs jours sous le récipient de la machine pneumatique. J'ai essayé souvent de traiter immédiatement le baume du Pérou par l'huile de pétrole ; mais la matière que j'obtenais n'était pas aussi pure que celle qui était préparée par le procédé que j'ai indiqué. La matière huileuse débarrassée pour ainsi dire des corps avec lesquels elle se trouve mélangée, ne doit pas être regardée comme pure, et c'est même à partir de ce point que la purification devient réellement difficile. En effet, cette huile retient toujours en dissolution une certaine quantité d'une matière cristalline, dont la quantité varie avec les baumes, et qu'il est difficile de lui enlever.

Ce corps, en effet, est soluble dans tous les liquides qui dissolvent la matière huileuse, et ne peut être séparé par aucun réactif ; je n'ai pu l'isoler qu'en soumettant l'huile d'abord à une température de quelques degrés au dessous de zéro, et en profitant aussi d'une inégale solubilité de ces deux corps dans l'alcool. L'alcool faible dissout de préférence la matière huileuse et laisse le corps cristallisable. Mais les chimistes qui se sont occupés de purifications semblables doivent savoir toute la difficulté qu'on éprouve dans un pareil cas.

Je regarde cette purification comme beaucoup plus délicate que celle de l'oléine, parce que la matière cristalline des baumes est fusible à une température plus basse que la stéarine et, par conséquent, a plus de tendance qu'elle à rester en dissolution dans la partie liquide.

La matière liquide sur laquelle j'ai fait mes expériences avait été purifiée par l'alcool à plusieurs reprises, et abandonnée pendant plusieurs jours dans un mélange réfrigérant.

J'ai voulu donner à ce corps un nom qui rappelât quelques-unes de ses propriétés, et je l'ai nommé *cinnaméine*.

Cinnaméine.

La cinnaméine est liquide à la température ordinaire, légèrement colorée, presque sans odeur; sa saveur est âcre, elle est à peine soluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et l'éther; cependant l'alcool un peu faible ne la dissout pas en toutes proportions. Elle tache le papier comme une huile grasse, elle se volatilise à une température fort élevée; mais alors elle éprouve, comme les corps gras, une décomposition partielle. Elle est plus lourde que l'eau; elle est inflammable et brûle avec une flamme fuligineuse.

Son analyse a donné les résultats suivants :

	I	II	III	IV	V
Matière	0,339	0,222	0,236	0,218	0,228
Eau.	0,187	0,130	0,135	0,122	0,128
Acide carbonique	0,983	0,636	0,679	0,612	0,649

Ce qui donne pour la composition en centièmes :

	I	II	III	IV	V	Atomes.	Théorie.
C.	78,70	79,2	79,5	78,88	78,7	54	78,60
H.	6,10	6,5	6,3	6,20	6,2	52	6,17
O.	15,20	14,3	14,2	14,92	15,1	8	15,23
	100,00	100,0	100,0	100,00	100,0		100,00

J'ai dit précédemment que la cinnaméine éprouvait une altération quand on la distillait. Pour m'assurer de ce fait d'une manière positive, j'ai pris une certaine quantité de cinnaméine que j'avais préalablement analysée, et je l'ai soumise à la distillation; j'ai reconnu d'abord qu'il se formait une petite quantité de produits goudronneux qui accompagnent toujours la décomposition des produits organiques par le feu; mais j'ai, de plus, fractionné les produits distillés, et j'ai pu alors m'assurer par l'analyse qu'ils ne présentaient pas tous la même composition, comme cela aurait dû arriver si la matière n'eût pas éprouvé de décomposition : on pourrait toutefois supposer que la distillation aurait séparé deux corps de composition différente, préexistant dans la cinnaméine ; mais je me suis assuré, par des expériences directes, que la différence que je trouvais dans la composition provenait de la présence d'un corps particulier qui s'était formé par la distillation. Du reste, j'ai reconnu qu'il passait à la distillation une très grande quantité de cinnaméine non altérée.

Je citerai ici les analyses faites sur les produits successifs d'une distillation de cinnaméine bien pure :

	1er produit.	2e produit.	3e produit.
atière	0,234	0,234	0,218
Eau	0,153	0,146	0,140
Acide carbonique	0,639	0,659	0,6055

En centièmes :

	I	II	III
C	75,5	77,87	81,40
H	7,3	6,92	7,12
O	17,2	15.21	11,47
	100,0	100,00	100,00

On voit donc, d'après ces analyses, que la cinnaméine éprouve une altération partielle quand on la distille: ce qui, du reste, n'est pas surprenant, car j'ai dit qu'il fallait, pour la faire entrer en ébullition, une température élevée qui peut être estimée à 350°.

L'action que la potasse exerce sur la cinnaméine est fort remarquable, et mérite un examen d'autant plus spécial que, d'après des expériences que j'ai déjà faites, je suis porté à croire que plusieurs corps peuvent présenter sous la même influence des réactions qui sont tout à fait du même ordre.

La potasse peut, en réagissant sur la cinnaméine, opérer une décomposition de ce corps avec ou sans dégagement d'hydrogène; c'est là une circonstance fort importante à noter, parce qu'elle doit influer nécessairement sur la nature des produits.

Le dégagement d'hydrogène dépend de la concentration de la potasse, et surtout de la température à laquelle on produit la décomposition; je parlerai successivement de ces deux cas.

Quand on met la cinnaméine en contact avec une dissolution très concentrée de potasse, elle ne tarde pas à changer d'aspect, elle s'épaissit et devient peu à peu solide. La réaction se fait dans ce cas sans dégagement de gaz et sans absorption d'oxygène. Pour avoir une décomposition complète, il faut prolonger le contact des deux corps pendant vingt-quatre heures; si, après ce temps, on traite la masse par l'eau, la plus grande partie se dissout, et on voit une matière huileuse nager sur la liqueur.

La partie qui s'est dissoute dans l'eau est un sel de potasse qui, traité par un acide, l'acide sulfurique, par exemple, laisse précipiter un acide peu soluble dans l'eau, très soluble au contraire dans l'alcool, et qui peut y cristalliser un gros prisme.

Cet acide n'est autre chose que l'acide cinnamique qui a été découvert par MM. Dumas et Péligot dans l'huile de cannelle exposée à l'air.

Comme il m'a été très facile d'obtenir ainsi de grandes quantités de cet acide, je l'ai soumis à des essais nombreux. Je citerai ici mes analyses :

	I	II
Matière	0,2105	0,2085
Eau	0,1040	0,110
Acide carbonique	0,558	0,557

En centièmes :

	I	II	Atomes.	Théorie.
C.	73,30	73,5	18	73,4
H	5,48	5,8	16	5,3
O	21,22	20,4	4	21,3
	100,00	100,0		100,0

Pour obtenir la composition de cet acide dans les sels, j'ai préparé un cinnamate de potasse cristallisé, et je l'ai précipité par l'azotate d'argent.

Ce cinnamate, bien desséché à 120°, a été analysé.

0,3445 gr. de cinnamate laissent 0,1465 d'argent.

Ce sel contient donc :

45,6	d'oxyde d'argent et
54,4	d'acide cinnamique.
100,0	

L'analyse par l'oxyde de cuivre a donné les résultats suivants :

Sel d'argent.	0,519
Eau.	0,137
Acide carbonique	0,796

En centièmes ;

		Atomes.	Théorie.
C.	78,04	18	78,0
H	5,30	14	4,9
O	16.66	3	17,1
	100,00		100,0

Comme j'avais reconnu que l'acide cinnamique parfaitement blanc et bien cristallisé donnait naissance à une trace d'une matière huileuse odorante, quand on le soumettait à la distillation, j'ai voulu reconnaître si, dans ce cas, il n'éprouvait pas d'altération : j'en ai donc distillé une certaine quantité, que j'ai fait cristalliser ensuite dans l'alcool, et que j'ai analysée après l'avoir fait fondre.

Je citerai cette analyse :

Matière	0,284
Eau. . . , ...	0,146
Acide carbonique	0,752

En centièmes :

	Atomes.		Théorie.
C	73,2	18	73,4
H	5,7	16	5,3
O	21,1	4	21,3
	100,0		100,0

Ainsi l'acide cinnamique est volatil sans modification.

On voit, d'après les expériences et les analyses que je viens de signaler, que la cinnaméine se transforme en cinnamate de potasse sous l'influence de cet alcali ; mais j'ai dit précédemment qu'elle produisait en outre une matière

huileuse, qu'il est assez facile d'obtenir en raison de son peu de solubilité dans l'eau. J'ai donné à cette substance le nom de *péruvine :* elle est volatile à une température beaucoup moins élevée que la cinnaméine; je l'ai purifiée par les moyens ordinaires, et je l'ai analysée. Son analyse a donné les nombres suivants :

Matière	0,248
Eau	0,208
Acide carbonique	0,714

En centièmes :

		Atomes.	Théorie.
C	79,6	18	79,9
H	9,3	24	8,7
O	11,1	2	11,4
	100,0		100,0

La péruvine est plus légère que l'eau, elle s'y dissout en petite quantité, elle est soluble dans l'alcool et l'éther, elle a une odeur assez agréable; l'acide azotique l'attaque facilement en formant un peu d'hydrure de benzoïle.

Je n'ai pu me procurer jusqu'à présent qu'une petite quantité de cette matière et, par conséquent, n'étudier que quelques-unes de ses propriétés.

Je me suis assuré que la péruvine ne préexiste pas dans le baume du Pérou, car il est impossible d'en obtenir la plus petite quantité par la distillation directe du baume. Il est bien certain que c'est un corps qui prend naissance sous l'influence de la potasse.

En résumant la décomposition que la potasse fait éprouver à la cinnaméine, on voit que dans ce cas ce corps se transforme en cinnamate de potasse et en péruvine.

Si on se reporte à la composition que j'ai donnée à la cinnaméine, on sait que je l'ai représentée par la formule $C^{54}H^{52}O^{8}$, qui peut être décomposée en $C^{36}H^{28}O^{6} + C^{18}H^{2}O^{24}$, c'est-à-dire en deux atomes d'acide cinnamique et un atome de péruvine.

Je regrette beaucoup que des difficultés d'opération m'aient empêché de contrôler la formule que je viens de donner par une expérience directe, c'est-à-dire de reconnaître si, en effet, les corps se produisaient dans le rapport indiqué par la formule.

Mais on voit que la composition de la cinnaméine rend parfaitement compte du genre de décomposition qu'elle éprouve dans ce cas.

En se rappelant les propriétés de la cinnaméine qui tendent à la rapprocher des corps gras, en voyant les réactions qu'elle produit sous l'influence de la potasse, en consultant enfin sa composition, il est impossible de ne pas comparer la cinnaméine à un corps gras; et si l'on ne peut pas voir dans l'action que la potasse exerce sur elle une véritable signification, au moins doit-on dire qu'il existe entre ces décompositions une analogie qu'on ne peut méconnaître.

Parlant de l'action que la potasse exerce sur la cinnaméine, j'ai dit que l'on pouvait obtenir un dégagement d'hydrogène, et j'ai reconnu que le gaz se

dégageait toujours quand on faisait chauffer rapidement la cinnaméine avec une dissolution concentrée de potasse, ou mieux quand on traitait la cinnaméine par des morceaux d'hydrate de potasse fondu.

Je devais rechercher d'abord si c'était encore du cinnamate de potasse qui se produisait dans ce cas.

J'ai retiré l'acide du sel de potasse, et je l'ai purifié par les procédés que j'ai indiqués précédemment, et je l'ai soumis à l'analyse :

Matière	0,2515
Eau	0,128
Acide carbonique	0,666

En centièmes :

		Théorie.
C	73,6	73,4
H	5,6	5,3
O	20,8	21,3
	100,0	10,00

On voit par cette analyse que c'est encore de l'acide cinnaméique qui se forme dans ce cas.

Mais j'ai remarqué qu'alors il ne produisait que de très petites quantités de péruvine.

Il est donc évident que c'est aux dépens de cette matière que se forme l'hydrogène. En effet, on sait que la péruvine a été représentée par la formule $C^{18}H^{24}O^{2}$. En mettant ce corps en présence de l'hydrate de potasse, on conçoit parfaitement qu'il peut se faire un atome de cinnamate de potasse, et il se dégagera alors 12 atomes d'hydrogène ; c'est ce qu'indique la formule suivante :

$$C^{18}H^{24}O^{2} + KO, H^{2}O = C^{18}O^{14}O^{3}, KO + H^{12}.$$

La réaction ne se produit pas d'une manière aussi nette que l'indique cette formule, car il se forme toujours un peu de péruvine ; mais j'ai voulu seulement faire voir comment pouvait se faire le dégagement d'hydrogène, et comment aussi il devait influer sur la quantité de péruvine produite.

La formule que je viens d'indiquer ici ne veut pas dire que la péruvine préexisterait en quelque sorte dans la cinnaméine, et que ce serait elle qui, sous l'influence de potasse concentrée, dégagerait de l'hydrogène; cette explication ne serait pas d'accord avec les faits que j'ai observés; car j'ai reconnu que la péruvine, une fois obtenue, ne se laisse plus décomposer par la potasse. J'ai seulement voulu faire comprendre comment les éléments qui constituent la péruvine peuvent se transformer, sous l'influence de la potasse, en cinnamate de potasse, avec dégagement d'hydrogène.

Après avoir étudié l'action de la potasse sur la cinnaméine, j'ai dû examiner le genre de décomposition que le chlore lui ferait éprouver.

Quand on fait passer un courant de chlore sur la cinnaméine, le gaz est absorbé lentement; pour faciliter l'absorption il faut en général chauffer légèrement; la cinnaméine se colore, s'épaissit ensuite, et donne enfin à la distillation un liquide très fluide d'une odeur pénétrante et caractéristique ; ce corps n'est autre

chose que du chlorure de benzoïle. Je n'ai pas voulu l'analyser, parce que je ne suis pas parvenu à le débarrasser d'une matière huileuse qu'il retenait avec opiniâtreté; mais l'étude de ses réactions ne m'a pas permis de conserver de doute sur sa composition. En effet, quand on le met en contact avec l'eau, il ne tarde pas à se décomposer et donne naissance à de l'acide chlorydrique et à de beaux cristaux d'acide benzoïque.

J'ai purifié cet acide par des cristallisations successives, et je l'ai analysé.

Matière	0,260
Eau	0,118
Acide carbonique	0,647

En centièmes :

		Atomes.	Théorie.
C	68,7	14	69,25
H	5,0	12	4,86
O	26,3	4	25,89
	100,0		100,00

Il est donc bien évident que c'est du chlorure de benzoïle qui se forme quand on fait réagir le chlore sur la cinnaméine. Je dois dire ici que ce résultat n'était pas celui que j'aurais attendu ; car en voyant avec quelle facilité la cinnaméine se transformait en acide cinnamique, je pensais former dans ce cas du chlorure de cinnamyle, et non du chlorure de benzoïle. Au reste la cinnaméine ne donne pas, avec le chlore, une réaction aussi tranchée que l'hydrure de benzoïle ; le chlorure de benzoïle, dont j'ai annoncé la formation, est un des produits de la réaction, mais il n'est pas le seul.

L'acide sulfurique agit sur la cinnaméine même à froid, et la transforme en une matière résineuse qu'il est facile de purifier en la faisant bouillir dans l'eau. Cette matière n'aurait rien de remarquable si elle ne présentait pas un ensemble de propriétés qui permet de la comparer avec la résine qui se rencontre dans les baumes ; et du reste, il existe entre sa composition et celle de la cinnaméine une relation qui est fort simple.

Matière	0,250
Eau	0,147
Acide carbonique	0,649

En centièmes :

		Atomes.	Théorie.
C	71,9	54	72,4
H	6,5	60	6,5
O	21,6	12	21,1
	100,0		100,0

On voit que l'acide sulfurique, en transformant la cinnaméine en résine, a déterminé la fixation des éléments de l'eau; car, comme je l'ai dit, la cinnaméine est représentée par la formule $C^{24}H^{52}O^{8}$.

La production d'une résine par une hydratation de la cinnaméine peut servir à expliquer la formation probable des résines qu'on trouve dans les baumes.

L'acide azotique réagit très vivement sur la cinnaméine quand on élève la température, et produit dans ce cas une matière résineuse jaune et une quantité très notable d'huile d'amandes amères.

L'oxyde pure de plomb, chauffé avec la cinnaméine, donne à peu de chose près les mêmes réactions que l'acide azotique. Enfin la cinnaméine, placée dans une cloche d'oxygène humide, l'absorbe lentement.

Telles sont les propriétés de la cinnaméine. Avant de démontrer comment elle peut donner naissance aux différentes substances que l'on rencontre dans les baumes, je dois faire connaître le corps cristallisé qu'elle retient souvent en dissolution, et qu'elle laisse déposer, comme je l'ai indiqué précédemment, quand on la traite par l'alcool faible, et qu'on vient ensuite à la soumettre à un froid de plusieurs degrés au dessous de zéro.

J'ai nommé ce corps *métacinnaméine.*

Il est solide à la température ordinaire, mais il fond très facilement; il est insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et l'éther; il est tout à fait neutre.

Son analyse a été faite sur un produit parfaitement cristallisé, et a donné les nombres suivants.

Matière	0,211
Eau	0,115
Acide carbonique	0,625

En centièmes:

		Atomes.	Théorie.
C	81,9	18	82,1
H	6,0	16	5,9
O	12,1	2	12,0
	100,0		100,0

On voit que ce corps possède exactement la composition d'une hydrure de cinnamyle; il en présente aussi toutes les réactions. Ainsi chauffé avec de l'hydrate de potasse, il se transforme avec dégagement d'hydrogène en cinnamate de potasse. J'ai retiré l'acide qui s'était formé pendant cette réaction. Je l'ai purifié et analysé.

Matière	0,201
Eau	0,107
Acide carbonique	0,532

En centièmes :

		Atomes.	Théorie.
C	73,1	18	73,4
H	5,9	16	5,3
O	21,0	4	21,3
	100,0		100,0

Cet acide est donc bien de l'acide cinnaméique ; je me suis assuré de plus que la métacinnaméine, traitée par le chlore, donne un produit qui paraît présenter toutes les propriétés d'un chlorure de cinnamyle ; je n'aurais pas hésité un seul instant à donner à la métacinnaméine le nom d'hydrure de cinnamyle, si j'avais pu m'en procurer assez pour analyser le chlorure. Mais ce corps est fort diffi-

cile à obtenir, et de plus tous les baumes n'en contiennent pas. J'attendrai une occasion favorable pour terminer l'étude d'un corps qui par l'ensemble de ses propriétés paraît présenter un haut degré d'intérêt.

Après avoir étudié ainsi les corps qui préexistent dans les baumes, je devais nécessairement tâcher de reconnaître le rôle que ces substances devaient jouer dans la formation des baumes. Il était d'abord évident que l'acide que l'on avait pris pour de l'acide benzoïque ne pouvait être que de l'acide cinnamique. J'ai, en effet, extrait l'acide qui préexiste dans le baume du Pérou; je l'ai purifié par cristallisation, et je l'ai analysé :

Matière	0,201
Eau.	0,107
Acide carbonique.	0,532

En centièmes :

C.	73,1
H.	5,9
O.	21,0
	100,0

On voit que cet acide est bien de l'acide cinnamique. Pour ne laisser aucun doute sur la préexistence de l'acide cinnamique dans le baume du Pérou, je dois dire que M. Robiquet a bien voulu mettre à ma disposition un échantillon de beaux cristaux qui s'étaient déposés lentement dans le baume du Pérou; je les ai analysés.

Je citerai mon analyse.

Matière	0,308
Eau	0,150
Acide carbonique	0,815

En centièmes :

C.	73,4
H.	5,3
O.	21,3
	100,0

Cet acide est donc de l'acide cinnamique; rien de plus facile maintenant que d'expliquer la formation de l'acide cinnamique dans le baume du Pérou.

J'ai dit qu'on trouvait souvent dans ce baume un corps qui avait la composition de l'hydrure de cinnamyle; c'est lui qui par son oxydation à l'air se transforme en acide cinnamique; c'est une tranformation qui est tout à fait du même ordre que le changement de l'hydrure de benzine en acide benzoïque au contact de l'air.

On conçoit maintenant comment il se fait que certains baumes ne présentent plus de métacinnaméine, c'est que cette dernière s'est transformée entièrement en acide cinnamique sous l'influence de l'oxygène de l'air.

Je désirais beaucoup aussi me rendre compte de la formation de la partie résineuse des baumes. On sait qu'elle augmente de jour en jour, à tel point que souvent les baumes se solidifient.

J'ai extrait cette résine d'un baume du Pérou, qui avait été exposé depuis longtemps à l'air, et je l'ai analysée.

Matière	0,200
Eau.	0,125
Acide carbonique	0,521

En centièmes :

		Atomes.	Théorie.
C	71,82	54	72,4
H.	6,78	60	6,5
O	21,40	12	21,1
	100,00		100,0

Cette résine a donc la même composition que celle que j'ai obtenue en hydratant la cinnaméine par de l'acide sulfurique.

D'après cette expérience, on peut penser que ce serait la cinnaméine qui, en s'appropriant les éléments de l'eau, se transformerait en résine.

Mais je dois faire ici une remarque qui est fort importante quand on veut suivre ainsi la formation de la partie résineuse ; c'est que cette dernière n'arrive pas immédiatement à un état complet et définitif de solidification, elle passe par des états intermédiaires de viscosité ; et quand on veut examiner une résine qui n'est pas encore arrivée à son dernier degré de formation, on doit nécessairement rencontrer un mélange d'une partie qui est entièrement résinifiée et une autre qui ne l'est pas encore entièrement. J'ai reconnu que dans ce cas la résine, qui n'était pas encore formée, ne différait de l'autre que par les éléments de l'eau.

Ces observations expliquent, je pense, la formation des différentes résines que M. Unverdorben a isolées par des procédés si ingénieux. Du reste, je dois dire que j'ai souvent été étonné de la rapidité avec laquelle la partie résineuse se forme dans certains baumes, comme, par exemple, dans le baume de Tolu ; tandis qu'au contraire la résinification est fort lente et à peine sensible pour le baume du Pérou ; il est évident qu'il y a souvent dans les corps organisés des substances qui déterminent des modifications plus ou monins rapides, et que nous ne pouvons pas toujours apprécier.

Après avoir étudié le baume du Pérou, j'ai voulu reconnaître si le baume de Tolu ne présenterait pas quelque réaction du même ordre.

Baume de Tolu.

Le baume de Tolu, comme on le sait, se rencontre dans le commerce à différents états ; tantôt il est visqueux, et tantôt au contraire il est presque aussi solide que le benjoin ; quand on prend le baume de Tolu qui est encore visqueux, et qu'on le traite par une dissolution de potasse étendue, on dissout la résine et l'acide qui préexistent dans le baume, et on peut obtenir alors une certaine quantité d'une matière liquide qui m'a présenté la composition et les propriétés de la cinnaméine, qui comme elle se transforme en cinnamate de potasse sous l'influence de cette base.

L'acide préexistant dans le baume de Tolu a été extrait et purifié par les procédés que j'ai exposés déjà. Je l'ai soumis à l'analyse, il m'a présenté les nombres suivants :

Matière	0,274
Eau	0,138
Acide carbonique	0,728

En centièmes :

C	73,4
H	5,5
O	21,1
	100,0

Cet acide est encore de l'acide cinnamique. Quant à la partie résineuse, elle m'a donné toutes les propriétés de la résine du baume du Pérou, manifestant par l'acide sulfurique une coloration d'un très beau rouge qui est tout à fait caractéristique; son analyse indique que c'est le même corps qui seulement a éprouvé une organisation plus complète, c'est-à-dire qui contient une plus grande quantité d'hydrogène et d'oxygène dans le rapport qui constitue l'eau. C'était du reste un résultat analytique auquel je m'attendais; car la résine du baume de Tolu était beaucoup moins fusible que la résine du baume du Pérou.

Je citerai l'analyse de cette résine :

Matière	0,274
Eau	0,153
Acide carbonique	0,703

En centièmes :

C	70,8
H	6,1
O	23,1
	100,0

D'après les faits que je viens d'exposer, il me paraît évident que le baume de Tolu contient les mêmes principes que le baume du Pérou, puisque j'y ai retrouvé la même résine, le même acide qui est de l'acide cinnamique, et la même matière liquide qui se trouve être de la cinnaméine. Ces deux baumes ne diffèrent en un mot que par leur degré d'organisation, et surtout aussi par la facilité avec laquelle le baume de Tolu se résinifie : ce qui se fait beaucoup plus lentement dans le baume du Pérou.

Un pareil fait n'est pas sans exemple : on sait qu'il existe certaines huiles végétales qui se résinifient avec une grande facilité; il y en a d'autres, au contraire, qui restent liquides pendant fort longtemps, et cependant l'analyse chimique leur assigne la même composition; et les produits de leur saponification, donnant les mêmes corps, font penser que ces huiles sont composées de la même manière; il y a toutefois dans ce cas, comme dans les baumes, une sorte de ferment qui détermine une altération plus rapide dans un cas que dans l'autre.

Je viens d'étudier la série des baumes qui donnent de l'acide cinnamique; il me reste maintenant à parler de ceux qui contiennent de l'acide benzoïque

comme e benjoin. Pour étudier d'une manière convenable cette classe de corps, il me manquait un baume primitif correspondant au baume du Pérou. Le benjoin doit être considéré comme un baume qui a éprouvé une organisation complète.

J'ai analysé la racine du benjoin purifiée par les procédés qu'indique M. Unverdorben, et je lui ai trouvé la composition suivante :

Matière	0,201
Eau	0,117
Acide carbonique	0,518

En centièmes :

C.	71,2
H	6,5
O	22,3
	100,0

On voit que cette résine présente à peu de choses près la même composition que celle des baumes du Pérou et de Tolu.

On conçoit que dans l'analyse de pareils corps on n'est en droit de me demander qu'une certaine approximation ; car, comme je l'ai déjà dit, ces substances n'ont pas la permanence des corps cristallisés, et les moyens de purification sont loin d'être satisfaisants.

Toutefois l'analyse que j'ai citée tendrait à faire croire que la matière résineuse est la même dans tous les baumes. Il faudrait, pour compléter l'étude des baumes, isoler le corps qui dans le benjoin donne de l'acide benzoïque, et avoir du benjoin qui ne serait pas encore solide.

Je me suis du reste assuré que l'on peut quelquefois rencontrer dans certains échantillons de benjoin une matière huileuse odorante qui paraît contenir le radical de l'acide benzoïque, car elle se transforme en chlorure de benzoïle sous l'influence du chlore; c'est probablement elle qui donne naissance à l'acide benzoïque des baumes; la petite quantité que j'ai obtenue ne m'a pas permis d'en faire une étude complète.

---

§ 4

SUR LA COMPOSITION ET LE MODE DE PRODUCTION DES GOMMES DANS L'ORGANISATION VÉGÉTALE

Les recherches générales que j'ai entreprises sur les tissus des végétaux et sur les modifications que certains principes immédiats éprouvent sous l'influence de l'organisation, devaient nécessairement me conduire à examiner les phénomènes qui se rattachent à la production des substances gommeuses.

Tous les chimistes savent que sur ce point nos connaissances sont peu étendues ; les propriétés chimiques des gommes sont à peine connues, les relations qui existent entre les parties solubles et les corps insolubles que l'on trouve dans presque toutes les gommes n'ont pas été établies d'une manière précise.

La même obscurité règne encore sur les circonstances physiologiques qui déterminent la sécrétion de la gomme. Des observations intéressantes dues à Decaisne démontrent que la production anormale de la gomme, dans certains arbres, coïncide avec l'époque de la formation des parties ligneuses et qu'elle se fait à leurs dépens ; mais nous ne connaissons pas le principe qui, par sa modification, produit dans les arbres la substance gommeuse, et nous voyons avec étonnement une gomme neutre sortir d'un fruit acide.

Lorsqu'on songe que la gomme est sécrétée avec abondance par plusieurs arbres, qu'elle se change facilement en matière sucrée pouvant concourir ainsi à la production du sucre dans les végétaux, qu'elle entre dans plusieurs opérations industrielles, on doit regretter que les chimistes aient en quelque sorte délaissé, dans leurs recherches, une substance aussi importante.

Ces considérations m'ont fait tenter souvent des expériences sur les gommes, dans l'espoir d'appliquer utilement la chimie à l'examen de cette question de physiologie végétale. Après avoir démontré, dans des recherches précédentes, que les corps gélatineux dérivaient tous, par transformations isomériques, d'un principe insoluble, la pectose, qui se trouve dans le tissu utriculaire des végétaux, j'ai essayé d'appliquer aux gommes les observations que j'avais faites sur les matières gélatineuses : j'étais en droit de supposer que ces deux séries de corps organiques qui présentent plusieurs caractères chimiques communs, qui se transforment avec la même facilité en acide mucique par l'action de l'acide azotique, offriraient aussi quelque ressemblance au point de vue physiologique.

Jusqu'à présent mes essais étaient restés infructueux, et il m'était impossible de faire entrer des gommes dans une série comparable à celle qui comprend les dérivés de la pectose.

Une observation inattendue est venue établir cette analogie que je cherchais depuis longtemps entre les corps gélatineux des végétaux et les gommes ; elle me permet aujourd'hui de présenter des vues nouvelles sur la constitution des matières gommeuses.

J'ai reconnu que l'acide sulfurique concentré pouvait faire éprouver à la gomme arabique une modification remarquable et la changer en un nouveau corps entièrement insoluble dans l'eau. Cette réaction aurait été observée depuis longtemps si, pour se produire, elle n'exigeait pas des circonstances toutes spéciales que j'ai étudiées avec soin et que je vais décrire.

La transformation de la gomme en substance insoluble ne s'opère ni sous l'influence de l'acide sulfurique étendu agissant sur une dissolution de gomme, ni par la réaction de l'acide sulfurique concentré mis en présence de la gomme pulvérisée.

Pour opérer facilement cette modification, on doit faire agir de l'acide sulfurique concentré sur de la gomme qui se trouve dans un état particulier d'hydratation.

Les circonstances favorables à l'expérience peuvent être réalisées de la manière suivante : je prépare d'abord un hydrate de gomme d'une viscosité telle que la décantation le détache difficilement des vases qui le contiennent. Je verse ce sirop épais dans un vase qui contient de l'acide sulfurique concentré; l'hydrate de gomme vient recouvrir le liquide acide sans se mélanger avec lui; je laisse le contact se prolonger pendant plusieurs heures ; après ce temps, je reconnais que la matière gommeuse s'est transformée en une sorte de membrane insoluble même dans l'eau bouillante. Pour rendre les explications qui vont suivre plus faciles à saisir, je désignerai immédiatement cette nouvelle substance sous le nom d'*acide métagummique*. Après avoir reconnu que ce nouvel acide, une fois lavé convenablement, ne retenait pas de traces d'acide sulfurique, je dus penser qu'il résultait d'une transformation isomérique ou d'une déshydratation opérée par l'action du réactif énergique que j'avais employé pour modifier la gomme.

Les observations suivantes, en donnant un grand intérêt à l'étude du nouvel acide, devaient m'indiquer nettement les relations qui existent entre ce corps et la matière gommeuse qui l'a produit.

L'acide métagummique résiste pendant plusieurs heures à l'action de l'eau bouillante ; j'ai soumis sous pression et à une température de 100° cet acide à l'action de l'eau et il n'a éprouvé aucune modification ; mais lorsqu'on le fait chauffer avec des traces de bases telles que la potasse, la soude, l'ammoniaque, la chaux, la baryte et la strontiane, il se dissout immédiatement et se modifie, car les acides ne le précipitent plus de la dissolution alcaline; il se change alors en un acide soluble que j'appellerai *gummique*, qui reste en combinaison avec la base employée pour opérer la modification du corps insoluble dans l'eau.

J'ai dû étudier ces transformations avec un grand soin, car les composés obtenus dans les circonstances précédentes en faisant agir les bases sur l'acide métagummique m'ont présenté tous les caractères de la gomme arabique.

Ces expériences sont donc de nature à modifier toutes les idées qu'on pouvait se faire jusqu'à présent sur la gomme arabique : cette substance qui a été considérée jusqu'alors comme une matière neutre comparable à la dextrine, dériverait d'un principe insoluble dans l'eau, l'acide métagummique qui, sous l'influence des bases perdant son insolubilité dans l'eau comme cela arrive à l'acide tartrique anhydre ou à la lactide, se transformerait d'abord en acide gummi-

que soluble, pour se combiner ensuite à des traces de bases et principalement de chaux, et former ainsi de véritables sels constituant les gommes solubles.

Pour confirmer cette manière de voir, je devais reprendre l'examen de la gomme et rechercher si, effectivement, cette substance peut être envisagée comme une combinaison de chaux avec un acide organique.

On sait, d'après les observations de plusieurs chimistes et principalement de celles de Vauquelin, que la gomme ne peut dans aucun cas être débarrassée des matières inorganiques qu'elle contient : lorsqu'on la calcine, elle laisse un résidu calcaire qui s'élève à trois ou quatre centièmes. En outre, a gomme est toujours précipitée d'une manière notable par l'oxalate d'ammoniaque.

Quand on traite la gomme par le sous-acétate de plomb, il se forme, comme on le sait, un composé insoluble. J'ai reconnu que, dans ce cas, la chaux se trouve séparée de la matière organique et reste unie à l'acide acétique. Faisant bouillir l'acide métagummique avec de la chaux, j'ai obtenu une substance soluble et identique avec la gomme arabique : comme la gomme, elle est neutre, insipide, incristallisable, soluble dans l'eau, précipitable par l'alcool et le sous-acétate de plomb; soumise à la calcination, elle laisse 3 p. 100 de cendres calcaires comme la gomme arabique.

Tous ces faits semblent donc démontrer que la gomme est réellement une combinaison de chaux avec un acide organique, et non un principe immédiat neutre comme on l'a admis jusqu'à présent.

Dans cette hypothèse il était intéressant d'étudier les changements que la gomme éprouverait dans ses propriétés, après l'élimination de la chaux qu'elle contient au moyen de l'acide oxalique.

La gomme, traitée ainsi par l'acide oxalique et privée de chaux, ne produit pas d'acide métagummique insoluble, comme cela arrive lorsqu'elle est soumise à l'action de l'acide sulfurique, dans les conditions que j'ai fait connaître précédemment.

Ce fait peut être expliqué avec facilité; lorsque l'acide sulfurique agit sur une matière organique, il peut non seulement lui enlever de l'eau ou les bases minérales qu'elle contient, mais lui faire éprouver une modification isomérique que la chaleur peut également produire : j'ai donc pensé que je pourrais, au moyen de l'acide oxalique et d'une légère torréfaction, faire éprouver aussi à la gomme arabique la transformation que l'acide sulfurique opère avec tant de facilité; l'expérience est venue confirmer cette prévision, et il m'a été possible, par cette nouvelle méthode, de transformer encore la gomme en acide métagummique; ce corps, sous l'influence de la chaux, reproduit immédiatement la gomme arabique.

Ainsi, dans cette dernière expérience, l'acide oxalique précipite la chaux contenue dans la gomme, et élimine l'acide gummique qui est soluble dans l'eau et la chaleur transforme cet acide soluble en acide métagummique insoluble.

On doit à M. Gélis une observation fort intéressante sur la gomme arabique, dont je trouve aujourd'hui une explication très simple. Cet habile chimiste a reconnu que, sous l'influence d'une température de 150° soutenue pendant plusieurs heures, la gomme devient insoluble dans l'eau et que, par l'action pro-

longée de l'eau bouillante, cette matière insoluble peut régénérer de la gomme.

J'ai reconnu que dans ce cas, il ne s'élimine pas sensiblement de matière calcaire : la gomme ne se change donc pas en acide métagummique ; mais, sous l'influence de la chaleur, la gomme (gummate de chaux) éprouve une transformation isomérique et produit du métagummate de chaux insoluble.

On comprend donc facilement que le corps obtenu par M. Gélis puisse régénérer de la gomme par l'action de l'eau bouillante ; tandis que l'acide métagummique obtenu par les méthodes que j'ai décrites ne puisse régénérer des gommes que sous l'inflence des bases.

Les chimistes qui se sont occupés de chimie appliquée à l'organisation ne s'étonneront pas de voir la gomme, qui est un sel calcaire, contenir seulement 3 p. 100 de chaux. Ils savent que les acides gommeux et gélatineux qui se trouvent encore rapprochés des substances organisées, ont toujours une capacité de saturation très faible, qui ensuite, augmente à mesure que nos réactifs les éloignent de l'organisation.

C'est ce principe important que j'ai développé dans mes recherches sur les matières gélatineuses des végétaux. On a vu, dans cette série remarquable, les premiers acides gélatineux présenter une capacité de saturation aussi faible que celle qui caractérise l'acide de la gomme.

Ainsi, d'après mes expériences, la gomme serait comparable aux composés pectiques ; elle dériverait d'une substance insoluble, l'acide métagummique, comme les corps gélatineux des végétaux, dérivent d'une matière insoluble qui est la pectose.

L'analyse élémentaire de l'acide métagummique m'a donné les nombres suivants :

	I	II
C.	41,10	40,82
H.	5,93	6,10
O.	52,97	53,08
	100,00	100,00

Ces nombres s'éloignent d'une manière sensible de ceux qui représentent la composition de la gomme brute ; mais, comme cette dernière substance n'a jamais été débarrassée préalablement de la chaux qu'elle contient, son analyse ne peut pas être considérée comme exacte.

Après avoir étudié la gomme la plus importante, qui est la gomme arabique, je devais examiner d'autres matières gommeuses et surtout celles qui présentent des parties gélatineuses et insolubles.

La gomme du cerisier contient une substance soluble qui est identique avec la gomme arabique, comme Guérin-Vary l'a parfaitement établi dans ses importantes recherches sur les gommes : je devais donc croire que la partie insoluble et gélatineuse que l'on peut extraire de cette gomme, la cérasine, présenterait de l'analogie avec l'acide métagummique.

Le chimiste que je viens de citer avait déjà prouvé qu'une longue ébullition

pouvait rendre soluble la cérasine et la transformer en gomme arabique ; j'ai reconnu en outre que les carbonates alcalins réagissent très rapidement sur la cérasine, en donnant naissance à du carbonate de chaux et à des gommes entièrement comparables à celles que l'on obtient directement par l'action des bases sur l'acide métagummique.

Les acides étendus et employés à froid décomposent la cérasine, s'emparent de la chaux contenue dans cette substance, et éliminent de l'acide métagummique qui, par l'action de la chaux, reproduit de la gomme arabique.

La cérasine n'est donc pas un principe immédiat neutre ; on doit considérer cette substance comme une combinaison de chaux avec l'acide métagummique.

La cérasine naturelle est identique avec le produit insoluble obtenu par M. Gélis ; en chauffant la gomme à 150° ces deux corps reproduisent la gomme arabique dans les mêmes circoustances. Cette transformation, qui s'opère par l'action de l'eau bouillante, peut se faire aussi sous l'influence de la végétation ; il est donc naturel de rencontrer dans l'organisation végétale des mélanges de gomme arabique et de cérasine, puisque ces deux corps doivent être considérés comme constituant deux états isomériques du même composé calcaire.

J'ai reconnu que la sécrétion gommeuse qui vient se solidifier souvent à l'extérieur d'un fruit acide, se trouve toujours en communication avec un dépôt intérieur d'une matière gélatineuse identique avec la cérasine et qui est formée comme elle par la combinaison de la chaux avec l'acide métagummique ; c'est donc la modification isomérique de ce composé calcaire et gélatineux qui produit la gomme neutre qui sort du fruit.

Il existe des gommes qui, comme celles de Bassora, semblent s'éloigner des précédentes par leurs propriétés et leur constitution : elles ne contiennent pas sensiblement de parties solubles, et sont formées par une substance qui éprouve dans l'eau un gonflement considérable.

Il résulte de mes expériences que la gomme de Bassora contient une substance gélatineuse et acide présentant une certaine analogie avec l'acide métagummique, mais qui ne doit pas être cependant confondue avec lui.

Lorsqu'on soumet la matière insoluble de la gomme de Bassora à l'action des bases alcalines et alcalino-terreuses, on obtient de véritables substances gommeuses solubles, insipides, incristallisables, insolubles dans l'alcool, comme la gomme arabique, mais qui sont précipitées par l'acétate neutre de plomb, tandis que ce réactif, comme on le sait, n'exerce aucune action sur la gomme ordinaire.

Ces dernières observations prouvent que les parties gélatineuses contenues dans les gommes peuvent se changer en substances gommeuses solubles, sous l'influence de l'eau bouillante ou par l'action des bases, mais que ces gommes ne présentent pas toujours des propriétés identiques.

Les gommes solubles, véritables composés calcaires, paraissent donc dériver de principes gélatineux différents et constituer plusieurs termes d'une même série organique.

Tels sont les faits nouveaux que j'ai observés dans mes études sur les gommes ; je les résumerai de la manière suivante :

1° La gomme arabique n'est pas un principe immédiat neutre ; on doit la con-

sidérer comme résultant de la combinaison de la chaux avec un acide très faible, soluble dans l'eau, que je nomme acide *gummique ;*

2° Cet acide peut éprouver une modification isomérique et devenir insoluble, soit par l'action de la chaleur, soit sous l'influence de l'acide sulfurique concentré; j'ai donné le nom d'acide *métagummique* à ce composé insoluble ;

3° Les bases et principalement la chaux transforment cet acide insoluble en gummate de chaux, qui présente tous les caractères chimiques de la gomme arabique ;

4° Le composé calcaire soluble qui forme la gomme ordinaire peut éprouver aussi par la chaleur une modification isomérique, comme M. Gelis l'a démontré, et se transformer en un corps insoluble qui est le métagummate de chaux. Cette substance insoluble reprend de la solubilité par l'action de l'eau bouillante ou sous l'influence de la végétation; elle existe dans l'organisation végétale ; c'est elle qui forme la partie gélatineuse de certaines gommes, comme celles du cerisier; on la trouve dans le tissu ligneux et dans le péricarpe charnu de quelques fruits; sa modification isomérique peut rendre compte de la production des gommes solubles ;

5° Il existe dans l'organisation végétale plusieurs corps gélatineux insolubles qui, par leurs transformations, produisent des gommes différentes ; ainsi la partie insoluble de la gomme de Bassora, modifiée par l'action des alcalis, donne une gomme qui ne doit pas être confondue avec la gomme arabique : les réactifs établissent entre ces deux corps des différences tranchées ;

6° Lorsqu'on voit avec quelle facilité la gomme et ses dérivés peuvent, en éprouvant une modification isomérique, se transformer en substances insolubles, on peut espérer que l'industrie, profitant de ces indications et les rendant pratiques, pourra un jour donner facilement de l'insolubilité à la gomme et l'employer, comme l'albumine, à la fixation des couleurs insolubles.

---

§ 5

SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DU POLLEN (1)

Les observations microscopiques faites avec le plus grand soin par MM. Mohl, Brown, Payen, Decaisne, et surtout par M. Fritzsche, démontrent que le pollen n'est pas un principe immédiat, car il est essentiellement formé de membranes extérieures enveloppant une membrane interne à laquelle on a donné le nom de *Fovilla.*

La composition de la fovilla paraît être fort complexe ; on y trouve un liquide épais, des gouttelettes huileuses, de petits corpuscules granuleux, et quelquefois de l'amidon.

Les grains de pollen de quelques plantes présentent en outre à leur extérieur une matière grasse et visqueuse qui lie incomplètement les grains les uns aux autres.

Nous avons pensé que, pour compléter cette étude du pollen, il était important d'examiner au point de vue chimique les principes immédiats qui le constituent, de déterminer la composition des membranes qui sont à l'extérieur du grain, d'analyser également les corps gras qui sont enfermés à l'intérieur de ces membranes ou qui se trouvent à leur surface, et de faire en un mot l'analyse immédiate du grain de pollen. Cette analyse devait permettre de comparer la composition chimique du pollen à celle des autres parties végétales.

Matière grasse extérieure du pollen.

Nous avons dit que les grains de pollen ont souvent à leur extérieur une substance grasse et filante qui les agglutine entre eux.

L'étude chimique de cette matière présentait une certaine importance ; quelques botanistes ont prétendu en effet qu'elle était de même nature que l'huile existant dans l'intérieur du grain de pollen : d'autres ont avancé qu'elle provenait d'une décomposition incomplète de la cellule dans laquelle le pollen s'était en quelque sorte développé. Il est évident que l'analyse chimique de cette substance devait jeter quelque lumière sur sa véritable nature.

Nos observations ont été faites sur le pollen du *lis orangé* (*lilium croceum*) qui contient une grande quantité de cette substance grasse extérieure, dont on constate la présence au moyen d'une observation microscopique.

---

(1) Ce travail a été publié en collaboration avec M. Cloëz.

Il nous a été facile d'extraire cette matière grasse en employant l'éther, qui la dissout immédiatement sans altérer le grain de pollen.

Elle est fortement colorée en jaune, onctueuse et filante, insoluble dans l'eau, peu soluble dans l'alcool même bouillant; l'éther la dissout rapidement : il est impossible d'en retirer une substance cristallisable, elle se dépose toujours de ses dissolutions dans l'alcool ou dans l'éther sous un état visqueux ; elle est neutre aux réactifs colorés, et possède souvent une odeur très marquée de cire. Les alcalis la saponifient avec difficulté et toujours incomplètement. Ce savon a été décomposé par un acide, et a donné naissance à un acide gras liquide ressemblant à l'acide oléique.

Cette substance nous a présenté la composition suivante :

(1)		(2)	
Matière	0,461	Matière	0,267
Eau	0,467	Eau	0,291
Acide carbonique	1,257	Acide carbonique	0,780
Centièmes.		Centièmes.	
Carbone	79,53	Carbone	79,65
Hydrogène	12,00	Hydrogène	12,09
Oxygène	8,47	Oxygène	8,26
	100,0		100,00

On voit que ce corps gras se rapproche, par sa composition, de certaines espèces de cires végétales analysées par M. Lewy.

La substance jaune qui colore le corps gras extérieur du pollen se détruit très rapidement au contact de l'air, sous l'influence de la lumière, même diffuse.

Il résulte des expériences que nous venons de décrire que la substance grasse extérieure du pollen présente une certaine analogie avec la cire jaune; elle ne doit pas être considérée comme un principe immédiat pur, car elle est évidemment formée d'une matière colorante jaune, d'un corps gras qui se saponifie par les alcalis, et d'une autre matière grasse qui résiste à l'action de la potasse concentrée.

Nous pensons que cette substance existe dans certaines cires jaunes, et que c'est elle qui les colore en leur donnant de la plasticité.

Il ne nous paraît pas possible d'admettre que ce corps gras extérieur soit un reste de la cellule qui contenait d'abord le grain de pollen, car il n'existe aucun rapport entre la composition de cette substance grasse et celle des membranes azotées et non azotées qui constituent les cellules.

Decaisne, avait déjà établi, par des considérations anatomiques, que le corps gras extérieur du pollen était entièrement indépendant de la substance constituant la cellule.

Examen des principes immédiats qui constituent le pollen du lis.

Nos observations ont été faites principalement sur le pollen des lis blanc et jaune, dont nous avons pu nous procurer une assez grande quantité dans les jardins du Muséum.

Nous n'insistons pas ici sur la forme de ce pollen et la nature de ses membranes extérieures et de sa fovilla : nous décrirons seulement les modifications que le pollen de lis éprouve par l'action des principaux réactifs, et nous ferons connaître la composition des principes immédiats que l'on peut en retirer.

L'eau froide n'agit pas sensiblement sur le pollen de lis ; mais lorsqu'on porte l'eau à l'ébullition, on voit la liqueur se colorer en jaune et se charger d'une substance gommeuse qui n'est autre chose que la dextrine ; en prolongeant l'action de la chaleur cette dextrine se change en glucose.

Cette expérience ne laisse aucun doute sur l'existence de l'amidon dans l'intérieur du pollen, comme cela avait, du reste, été établi précédemment par Payen. Lorsqu'on met le pollen de lis en contact avec de l'eau iodée, la coloration bleue n'est pas immédiate ; mais bientôt la dissolution iodée s'introduit dans le grain par endosmose, traverse les membranes extérieures qu'elle ne colore pas, et agit ensuite sur l'amidon renfermé dans les membranes.

La transformation de l'amidon du pollen en dextrine et en glucose fait présumer que dans l'intérieur du grain il existe une substance active, un ferment, qui peut agir sur l'amidon à la manière de la diastase.

Du reste, la présence d'une matière azotée soluble existant dans le pollen n'est pas douteuse ; nous l'avons constatée dans l'extrait aqueux, et de plus nous avons reconnu que pendant l'évaporation il se coagule toujours une substance comparable à l'albumine ou plutôt à la caséine. Ces corps peuvent évidemment déterminer la désagrégation de l'amidon.

L'alcool et l'éther n'agissent pas sur le grain de pollen qui est entier, mais ces dissolvants exercent au contraire une action rapide sur le pollen que l'on a broyé pendant plusieurs heures.

Pendant cette opération mécanique, le pollen se colore en jaune, prend un aspect gras, et peut alors graisser le papier à la manière d'une graine oléagineuse que l'on aurait soumise à la pression. Si l'on traite le pollen ainsi broyé par l'alcool ou mieux par l'éther, on voit ce dernier liquide enlever au pollen une quantité considérable d'huile qu'il est facile d'obtenir ensuite par l'évaporation de l'éther.

L'huile du pollen présente tous les caractères d'une huile grasse : elle se saponifie avec facilité ; en cela elle diffère du corps gras extérieur du pollen ; sa couleur est légèrement jaunâtre ; elle nous présente la composition suivante :

Huile	0,338
Acide carbonique	0,934
Eau	0,392
Centièmes.	
Carbone	75,36
Hydrogène	12,90
Oxygène	11,74
	100,00

On voit que, par sa composition, elle se rapproche entièrement des huiles grasses proprement dites, que l'on extrait des graines oléagineuses.

Le pollen épuisé par l'eau bouillante, par l'alcool et par l'éther, laisse un résidu très abondant qui est évidemment formé des membranes extérieures du

pollen et peut-être d'une partie de la fovilla qui a résisté à l'action des dissolvants. Nous avons pensé que l'analyse élémentaire pourrait peut-être nous éclairer sur la nature de ce résidu. Nous donnons ici le résultat d'une analyse faite sur la partie du pollen insoluble dans l'eau bouillante, l'alcool et l'éther.

1gr,063 ont laissé par l'incinération 2,35 p. 100 de cendres; ces cendres étaient alcalines et contenaient en outre du phosphate et du carbone de chaux

Matière (abstraction faite des cendres). .	0,370
Eau.	0,246
Acide carbonique.	0,709
Dosage de l'azote.	
Matière.	0,696
Azote à 0° et à 0,76 de pression.	0,0754
Composition en centièmes.	
Carbone	52,25
Hydrogène	7,38
Azote	10,83
Oxygène	29,54
	100,00

La proportion considérable d'azote existant encore dans ce résidu nous a fait penser qu'il devait retenir une substance de nature albumineuse ; nous l'avons donc traité à plusieurs reprises par une dissolution concentrée de potasse, qui, en effet, a enlevé une substance azotée soluble dans les alcalis et précipitable par les acides.

Le résidu laissé par l'alcali a été de nouveau purifié par les dissolvants et soumis ensuite à l'analyse; il a donné les nombres suivants :

0gr,466 ont laissé par l'incinération 1,71 p. 100 de cendres.

Matière (abstraction faite des cendres). .	0,288
Eau	0,196
Acide carbonique	0,592
Dosage de l'azote.	
Matière.	0,359
Azote à 0° et à 0m,76	0,022
Centièmes.	
Carbone	56,05
Hydrogène	7,55
Azote	6,12
Oxygène	30,28
	100,00

On voit que le résidu, qui au microscope présente l'aspect des membranes extérieures du grain de pollen, contient encore une quantité assez considérable d'azote et paraît s'éloigner du ligneux.

Les résultats semblent démontrer également que les membranes extérieures du pollen ne sont pas formées par des corps cellulosiques; elles résistent en effet à l'action de l'acide sulfurique même concentré qui les colore en noir,

mais qui ne les dissout pas; elles sont remarquables par leur grande fixité: ces membrines sont formées par un mélange de cutore et de vasculore.

Nous avons voulu déterminer la composition de la substance azotée qui se dissout dans les alcalis et que les acides peuvent précipiter de la dissolution ; nous citons ici les résultats de notre analyse qui s'appliquent à une substance que la potasse en dissolution a dû altérer.

Matière	0,305
Acide carbonique	0,560
Eau	0,200
Détermination de l'azote.	
Matière	0,308
Azote à 0° et à $0^m,76$	0,0384
	Centièmes.
Carbone	50,06
Hydrogène	7,28
Azote	12,46
Oxygène	30,20
	100,00

Nous ne pouvons pas considérer cette substance comme étant absolument pure, mais on voit cependant que par sa composition elle se rapproche des corps albumineux.

Après avoir déterminé la composition du pollen de lis, il était intéressant d'examiner d'autres pollens au point de vue analytique et de rechercher s'ils présentaient tous la même composition chimique.

Dans ce but, nous avons soumis à l'analyse les pollens de deux espèces de pins (*pinus mughus* et *pinus austriaca*), et des deux espèces de massettes que l'on trouve aux environs de Paris (*typha latifolia* et *typha angustifolia*). Nos recherches démontrent que ces pollens, qui par leur forme diffèrent complètement du pollen de lis, ont cependant la même composition chimique. Nous avons retiré de ces pollens de l'huile, de l'amidon, de la dextrine, du glucose, de l'albumine, une substance azotée soluble dans la potasse, et des membranes présentant les caractères chimiques de celles qui sont à l'extérieur du pollen de lis.

Nous pensons donc que les principes immédiats qui composent en grande partie le pollen de lis se retrouvent dans les autres pollens.

En résumé, nos recherches sur le pollen conduisent à un résultat qui paraîtra probablement intéressant aux botanistes : c'est qu'il existe une analogie frappante entre la composition d'un pollen et celle d'une graine oléagineuse. On trouve en effet, dans le pollen comme dans les graines, des membranes plus ou moins azotées, de l'amidon, une sorte de diastase, de l'huile grasse en grande quantité et des substances albumineuses.

Il est curieux de voir la *déhiscence* et le développement du *tube* ou *boyau pollinique*, qui peuvent être comparés jusqu'à un certain point à un phénomène de germination, se produire dans un corps présentant dans sa composition de l'analogie avec une graine.

§ 6

RECHERCHES SUR LES BETTERAVES A SUCRE (1)

L'extension que prend en France la culture de la betterave à sucre appelle naturellement l'attention des chimistes et des agronomes sur les variations que présente la composition de cette racine.

Cette composition est-elle influencée par la nature de la graine d'où proviennent les racines, ou par le mode de culture, ou par la nature du sol dans lequel les betteraves se développent? Si ces différentes causes agissent simultanément, quelle est la part qu'il faut faire à chacune d'elles? Telles sont les questions que nous avons voulu aborder dans ce travail.

Nous nous empressons de reconnaître que, dans cette recherche, nous arrivons après beaucoup d'autres observateurs; mais le sujet est assez vaste et assez difficile pour laisser place encore pendant longtemps à tous ceux qui veulent l'étudier.

Dans la suite de ses intéressantes publications sur les betteraves, M. Peligot a montré toute l'importance qu'il faut attacher au choix judicieux de la graine, M. Violette a fait connaître récemment les soins qu'on apporte dans notre région septentrionale à la culture de la betterave pour graine, et les avantages qu'on en retire. Néanmoins les plaintes incessantes des fabricants sur la pauvreté en sucre des betteraves que leur fournissent les cultivateurs semble démontrer que le mode de culture qui est suivi exerce peut-être sur la richesse saccharine des racines une influence considérable, et que s'il n'est pas possible d'obtenir de bonnes betteraves en cultivant de mauvaises graines, il peut se faire aussi que de bonnes graines mal cultivées donnent des betteraves peu sucrées.

Laissant donc de côté la question de la sélection des graines qui est étudiée en ce moment avec tant de soins et de succès par plusieurs observateurs habiles, nous nous sommes proposé particulièrement, dans le travail que nous résumons ici, d'examiner l'influence qu'exercent sur le développement de la betterave le sol qui la porte et les engrais qui la nourrissent. Ici encore nous rencontrons les recherches récentes de MM. Corenwinder, Pagnoul et Truchot, dont nous nous empressons de reconnaître l'intérêt; nous verrons plus loin que nos résultats sont complètement d'accord avec ceux qu'ils ont obtenus.

Pour éviter toutes les incertitudes que présente la culture en pleine terre et pour faire la part, dans nos recherches, de l'influence du sol et de celle des engrais que nous voulions employer, nous avons composé nos sols d'une manière synthétique en faisant usage d'éléments dont la composition nous était connue, procédé de recherches que les travaux de M. Boussingault ont rendu classique. Nous avons installé dans le jardin d'expérience du Muséum un grand nombre

(1) Ce travail a été fait en collaboration avec M. Dehérain.

de tonneaux destinés à contenir nos sols artificiels, que nous avons formés de sables pur, de calcaire et d'argile exempte de potasse; ces différents corps ont été analysés avec soin : ce sont ceux qui servent à la manufacture des glaces de Saint-Gobain soit à la fabrication du verre, soit à la confection des creusets.

Ces matières ont été employées seules ou à l'état de mélange; en outre, nous avons toujours eu le soin de placer au fond de nos tonneaux une couche assez épaisse de graviers siliceux permettant l'écoulement des eaux : les graviers étaient même disséminés souvent dans nos sels artificiels pour leur donner plus de perméabilité.

D'autres tonneaux ont été remplis d'une terre arable d'excellente qualité, que nous avons fait venir du département de l'Aisne; enfin des expériences comparatives s'exécutaient en pleine terre soit dans les carrés du Muséum, soit dans les terres de Grignon. Dans les cultures limitées faites en tonneau, nous avons toujours eu le soin de soumettre les sols à un arrosage abondant et régulier, et pour éviter que l'eau ne séjournât au fond des tonneaux nous avons percé ceux-ci latéralement d'un grand nombre de trous.

Les engrais que nous avons essayés, tantôt seuls, tantôt à l'état de mélange, sont le sulfate d'ammoniaque, l'azotate de potasse, l'azotate de soude, le chlorure de potassium, le chlorure de sodium, le superphosphate de chaux, le guano, la corne râpée et le fumier. Dans quelques expériences les engrais ont été ajoutés immédiatement au sol; mais dans d'autres on les a introduits peu à peu en suivant les progrès de la végétation. On voit par l'exposé précédent que les observations que nous présentons cette année sont presque indépendantes des questions qui se rapportent à la sélection des graines.

Les graines que nous avons employées pour nos cultures du Muséum nous ont été données par un agriculteur distingué du département de l'Aisne, qui est en même temps fabricant de sucre de betteraves. Ces mêmes graines cultivées en Picardie ont produit des betteraves contenant de 11 à 13 p. 100 de sucre.

Dans les tonneaux qui contenaient des sols artificiels et des engrais chimiques solubles, la levée fut très irrégulière; des expériences exécutées dans des vases plus petits nous firent voir qu'en effet des dissolutions de sulfate d'ammoniaque ou de sel de potasse contenant deux grammes de sel par litre empêchaient souvent la levée de graines de betteraves semées dans des sols artificiels dépourvus d'humus. Il n'en fut pas de même dans une bonne terre arable.

Les betteraves ont été semées le 9 juin, puis ont été examinées le 22 juin.

On reconnaîtra que si la levée a été très régulière dans le sol riche en humus, elle a été très inégale au contraire dans le sol artificiel; il ressort clairement des expériences précédentes, que si les engrais solubles n'ont aucune influence fâcheuse sur les graines confiées à la terre normale, il n'en est plus ainsi quand ces graines sont semées dans un sol qui ne renferme aucune matière capable d'absorber ces engrais solubles. Il semble, au reste, que les sels ammoniacaux sont plus dangereux que les chlorures et les azotates; c'est ainsi que la levée a manqué absolument dans les quatre expériences 51, 52, 61, 62, dans lesquelles le sol a reçu du sulfate d'ammoniaque, tandis que dans 59 une graine a levé, et dans 69 l'effet du salpêtre n'a pas été nuisible; on avait remarqué les mêmes effets dans les tonneaux d'expérience. Il y a là une indication importante pour

les cultivateurs qui voudraient semer des betteraves dans les terrains pauvres en humus et soutenir leur végétation avec des engrais solubles; ils feront bien de donner ces engrais en couverture quand les betteraves sont déjà levées et assez vigoureuses pour supporter les dissolutions salines qui exercent sur les jeunes racines une action des plus funestes.

INFLUENCE DE DIVERS ENGRAIS SUR LA LEVÉE DES GRAINES DE BETTERAVES

N° des expériences.	NATURE DU SOL	NATURE et poids de l'engrais.	ÉTAT DE LA VÉGÉTATION
51	Argile, calcaire, sable.	2 gr. sulfate d'ammoniaque.	Pas de germination. Aucune graine n'est levée.
52	— —	— —	Une seule graine levée. Plante très chétive.
53	Bonne terre arable.	— —	Levées après quatre jours, plantes vigoureuses.
54	— —	— —	— —
55	Argile, sable, calcaire.	2 gr. chlorure de potassium.	Levée irrégulière, plantes très chétives.
56	— —	— —	Levée irrégulière, plantes très chétives.
57	Bonne terre arable.	2 gr. chlorure de potassium.	Graines bien levées, plantes vigoureuses.
58	— —	— —	Graines bien levées, plantes vigoureuses.
59	Argile, sable, calcaire.	2 gr. azotate de potasse.	Une seule graine levée.
60	Bonne terre arable.	2 gr. azotate de potasse.	Graines bien levées.
61	Argile, sable, calcaire.	4 gr. sulfate d'ammoniaque.	Rien, pas de germination.
	— —	— —	Rien, pas de germination.
62	Bonne terre arable.	4 gr. sulfate d'ammoniaque.	Bonne germination.
64	— —	— —	Très bonne germination.
65	Argile, sable, calcaire.	4 gr. chlorure de potassium.	Quelques graines levées, végétation très languissante.
66	— —	— —	— —
67	Bonne terre arable.	— —	Très bonne germination.
68	— —	— —	— —
69	Argile, sable, calcaire.	4 gr. azotate de potasse.	Bonne germination.
70	Bonne terre arable.	— —	Bonne germination.

Partout où des manques se produisirent, des betteraves provenant de pépinières en pleine terre furent repiquées dans les sols artificiels, puis éclaircies peu à peu, de telle sorte qu'il n'est resté que trois betteraves dans chaque tonneau.

Presque toutes les betteraves furent arrosées avec de l'eau de la ville; quelques-unes cependant reçurent de l'eau distillée pendant toute la durée de la végétation, lorsque nous voulions nous mettre à l'abri de l'influence des sels qui existent dans l'eau ordinaire; dans quelques essais, enfin, nous avons eul-

tivé des betteraves dans de l'eau contenant des engrais chimiques entièrement solubles.

Le premier fait intéressant qui ressort de nos expériences, c'est qu'il est possible d'obtenir des betteraves pesant de 700 à 800 grammes dans des sols artificiels qui ne contenaient pas d'humus. Ces sols étaient formés tantôt de sable pur, tantôt par un mélange de sable, de calcaire et d'argile, et n'ont reçu que des engrais chimiques. Il résulte de cette observation que l'humus n'est pas indispensable au développement de la betterave et que, dans les conditions de nos expériences, le sol paraît agir comme un simple support.

Ces faits s'accordent avec ceux qui ont été constatés à différentes reprises par M. G. Ville. Nous ajouterons même qu'en employant à poids égaux, dans nos sols artificiels et dans une bonne terre de Picardie, les engrais chimiques convenablement choisis, il nous est arrivé souvent d'obtenir de plus grosses betteraves dans les sols artificiels que dans une terre riche en humus.

Il est bien entendu que nous ne parlons ici que des expériences faites dans nos tonneaux et sur des betteraves soumises à un arrosage abondant et régulier ; nous sommes bien loin de vouloir étendre ces résultats au delà de nos essais, de chercher à diminuer le rôle capital que jouent dans la terre arable les matières ulmiques, les composés azotocarbonés si bien étudiés par M. Thénard et dont les propriétés hygrométriques sont si précieuses pour maintenir les sols non irrigués dans un état d'humidité convenable.

L'influence des engrais chimiques sur le développement et le poids des betteraves ressort nettement des observations du tableau ci-dessous.

COMPARAISON ENTRE LA CULTURE DANS LES SOLS ARTIFICIELS ET DANS LA BONNE TERRE SOUS L'INFLUENCE DES MÊMES ENGRAIS

SOL ARTIFICIEL			BONNE TERRE ARABLE			EXCÈS DU POIDS obtenu dans la bonne terre + / EXCÈS DU POIDS obtenu dans le sol artificiel —
NUMÉROS des expériences.	POIDS ET NATURE des ENGRAIS EMPLOYÉS	SOMME du poids des betteraves obtenues dans un tonneau.	NUMÉROS des tonneaux.	POIDS ET NATURE des ENGRAIS EMPLOYÉS	SOMME du poids des betteraves récoltées dans un tonneau.	
		gr.			gr.	gr.
21	100 gr. azotate de soude, 100 gr. superphosphate, 100 gr. chlorure de potassium. . . .	1.777	39	100 gr. azotate de soude, 100 gr. superphosphate, 100 gr. chlorure de potassium. . . .	1.921	+ 144
32	100 gr. azotate de potasse, 100 gr. superphosphate, 100 gr. chlorure de potassium. . . .	1.712	38	100 gr. azotate de potasse, 100 gr. superphosphate, 100 gr. chlorure de potassium . . .	1.313	— 399
31	500 gr. de guano du Pérou	1.125	50	500 gr. guano du Pérou.	1 391	— 234
33	300 gr. engrais de Saint-Gobain	1.602	37	300 gr. engrais de Saint-Gobain	1.031	— 571
1	110 gr. azotate de potasse, 110 gr. superphosphate	1.595	47	100 gr. azotate de potasse, 100 gr. superphosphate	1.420	— 175
22	200 gr. raclures de cornes, 100 gr. superphosphate, 100 gr. sulfate de potasse	1.558	41	200 gr. râclures de cornes, 100 gr. superphosphate, 100 gr. chlorure de potassium. . . .	1.918	+ 360
19	100 gr. sulfate d'ammoniaque, 100 gr. superphosphate, 10 gr. chlorure de potassium. .	1.522	40	100 gr. sulfate d'ammoniaque, 100 gr. superphosphate, 100 gr. chlorure de potassium .	1.414	— 108
13	100 gr. sulfate d'ammoniaque, 100 gr. superphosphate de chaux.	1.052	42	100 gr. sulfate d'ammoniaque, 100 gr. superphosphate de chaux	1.514	+ 462
18	100 gr. sulf. d'ammon. (arrosé à l'eau distillée).	1.032	49	100 gr. sulfate d'ammoniaque.	1.483	+ 408
30	1 kil. fumier de ferme.	428	45	1 kil. fumier de ferme	871	+ 343
15	100 gr. superphosphate de chaux, 100 gr. chlorure de potassium	225	44	100 gr. superphosphate de chaux, 100 gr. chlorure de potassium	824	+ 599
10	Aucun engrais arrosé à l'eau ordinaire	111	36	Aucun engrais arrosé à l'eau ordinaire. . . .	41	+ 330

Un de nos tonneaux contenant un sol stérile n'avait reçu aucun engrais, et était arrosé à l'eau distillée : les betteraves s'y sont développées d'une manière bien incomplète : au moment de la récolte elles ne pesaient que 25 grammes; celles qui sont venues dans les mêmes conditions, mais qui ont été arrosées avec de l'eau ordinaire, pesaient 37 grammes; le même sol contenant du superphosphate de chaux et du sel marin a produit des betteraves dont le poids s'est élevé à 49 grammes; la substitution du chlorure de potassium au sel marin a porté le poids des betteraves à 75 grammes; ici l'influence de la potasse sur le développement de la betterave paraît sensible : nous avons confirmé ce fait intéressant, en cultivant des betteraves dans un sol stérile ne contenant comme engrais que du superphosphate de chaux et arrosé avec de l'eau distillée : le poids des betteraves dans ce cas n'a pas dépassé 53 grammes.

Les faits démontrent d'une manière évidente que l'azote est indispensable au développement de la betterave, et, qu'en l'absence d'un engrais azoté dans le sol, les betteraves restent à l'état rudimentaire; mais toutes nos expériences établissent que les résultats sont bien différents, lorsqu'aux engrais minéraux contenant de l'acide phosphorique, de la potasse et de la chaux, on ajoute des substances azotées.

En cultivant des betteraves dans un sol artificiel contenant du sulfate d'ammoniaque ou de l'azotate de soude, nous avons obtenu des betteraves dont le poids s'est élevé à 346 grammes, l'addition du superphosphate de chaux et du chlorure de potassium a porté le poids des racines à 700 et 800 grammes.

Notre but n'était pas seulement d'étudier l'influence qu'exercent les engrais sur le poids des betteraves, mais aussi d'apprécier les causes qui peuvent faire varier, dans les racines, la proportion du sucre. Cette question est d'une grande importance, non seulement au point de vue des intérêts agricoles du pays, mais aussi sous le rapport de la physiologie végétale : il s'agit en effet de rechercher s'il est possible, en modifiant la nature de l'alimentation d'une plante, de faire varier la proportion d'un principe immédiat qu'elle sécrète.

Nous avons donc déterminé avec le plus grand soin, dans de nombreuses analyses, les proportions du sucre contenues dans nos betteraves nourries dans un sol artificiel de composition connue, et dont la fécondité n'était déterminée que par des engrais chimiques,

Nous pensions que le problème ainsi posé pouvait être facilement résolu; mais nous avons rencontré dans cette partie de notre travail une difficulté très sérieuse : en analysant les betteraves venues dans le même tonneau et sous les mêmes influences, nous avons reconnu qu'elles présentent souvent, dans leur richesse saccharine, des différences très notables; il nous est arrivé, par exemple, dans un tonneau contenant du sable pur et arrosé avec une dissolution au millième d'azotate de potasse et de superphosphate de chaux, d'obtenir trois betteraves contenant 5,0; 8,9; 9,4 p. 100 de sucre. Dans un autre tonneau, qui avait reçu au commencement de la campagne un mélange d'azotate de soude, de superphosphate de chaux et de chlorure de potassium, les trois betteraves récoltées contenaient 12,6; 15,9 et 18,2 p. 100 de sucre.

Des faits de même nature se constatent, du reste, dans la grande culture : en analysant les betteraves que nous avions obtenues dans les carrés du Muséum,

nous avons trouvé des betteraves renfermant de 3 p. 100 à 9 p. 100 de sucre ; celles de l'école de Grignon nous ont donné des nombres variant de 9,4 p. 100 à 18,8 p. 100 de sucre.

Ces différences dans la richesse saccharine des betteraves sont-elles dues aux variations de la graine ou bien à l'action inégale de l'engrais? Nous devons avouer que sur ce point notre opinion n'est pas encore faite.

Mais si, sur ce point, nous devons être d'une grande circonspection, il est un fait capital que nous devons faire ressortir ici et qui résulte de nos recherches: c'est que, dans des sols sans humus c'est-à-dire sans matière organique azotée et par la seule action des engrais chimiques, nous sommes arrivés non seulement à produire des betteraves d'un poids normal, mais aussi d'une richesse saccharine allant jusqu'à 18 p. 100.

L'importance de ce résultat au point de vue de la culture n'échappera à personne.

Nous arrivons maintenant au point le plus saillant de notre travail : il se rapporte à l'étude des circonstances qui peuvent amoindrir dans une betterave la production du sucre.

Nous avons dit que nos betteraves ont été cultivées non seulement dans des sols artificiels, mais aussi dans les carrés du Muséum. En analysant les betteraves venues dans ce terrain, qui nous paraissait très fertile, et qui recevait depuis longtemps des quantités considérables de fumier, nous avons constaté que nos racines étaient très pauvres en sucre.

Des betteraves qui nous ont été envoyées du département du Nord et qui s'étaient développées dans un terrain comparable à celui du Muséum, nous ont donné le même résultat.

L'idée nous vint alors de rechercher s'il n'existerait pas une relation entre la quantité d'azote contenue dans le sol, ou dans la betterave, et la proportion de sucre que présente cette racine ; et si une betterave qui se développe dans un sol fortement fumé et ayant à sa disposition une quantité exagérée d'engrais azoté, n'aurait pas une tendance à former des substances albuminoïdes plutôt que du sucre.

Ainsi dans le tonneau qui a donné trois betteraves différentes contenant 5, 8, 9 ; et 9,5 p. 100 de sucre, nous avons constaté que la racine qui ne renfermait que 5 p. 100 de sucre était beaucoup plus azotée que les autres ; elle contenait environ deux fois plus d'azote que celle qui avait donné 9,5 p. 100 de sucre.

Cette observation a été confirmée par l'analyse d'un grand nombre de betteraves obtenues au Muséum ou recueillies soit à l'école de Grignon, soit dans le département de l'Aisne, soit dans celui du Nord.

Sans vouloir donner encore à ce principe une précision absolue, nous pouvons dire cependant qu'il résulte de nos observations que les betteraves qui contiennent moins de 10 p. 100 de sucre donnent souvent à l'analyse deux fois plus d'azote que celles qui arrivent à une richesse saccharine de 15 à 16 p. 100.

Les betteraves obtenues à Grignon, dans la ferme extérieure, étaient en moyenne extrêmement riches, elles renfermaient jusqu'à 18,8 p. 100 de sucre, au

maximum : sur 25 betteraves analysées, 13 ont donné plus de 15 p. 100 de sucre, mais l'une d'elle est tombée jusqu'à 9,4 p. 100 de sucre. Sur les 13 premières, 8 renfermaient moins de 1 p. 100 d'azote dans la matière sèche; la betterave qui ne renfermait que 9,4 p. 100 de sucre renfermait au contraire 1,72 d'azote dans 100 de matière sèche. Tandis que les petites betteraves fourchues du département de l'Aisne (ferme de Forest, près Morsain) contenaient en moyenne 15 p. 100 de sucre, quelques-unes de celles que nous avons reçues du Nord renfermaient 89 d'eau, 6 de sucre et de 3 à 5 p. 100 d'azote. L'une d'elles, même, était extraordinairement riche en salpêtre; après dessiccation elle fusait au feu avec décrépitation. Nous avons eu la curiosité d'y doser l'azote total par l'oxyde de cuivre, nous avons trouvé 5 p. 100 d'azote sur 100 de matière sèche, le dosage par la chaux sodée ne nous avait donné que 3 p. 100 d'azote.

Nous avons constaté en outre que les betteraves les moins sucrées étaient celles qui se développaient dans un sol très azoté; la terre du Muséum qui a fourni des betteraves très pauvres en sucre renfermait à peu près huit fois plus d'azote que celle de Grignon qui a donné des betteraves d'une richesse exceptionnelle. Si ces premières observations se trouvent confirmées par celles que nous allons suivre cette année, on arrivera à une conclusion très inattendue : contrairement à l'opinion généralement admise, si les betteraves qui se développent dans certains terrains sont peu sucrées, ce n'est pas parce qu'ils ont été appauvris par des cultures répétées, c'est au contraire parce que, sous l'influence d'abondantes fumures, ils sont devenus trop riches en azote.

Les essais exécutés dans le Nord, dans le Pas-de-Calais, dans le Puy-de-Dôme, par MM. Corenwinder, Pagnoul et Thurot, leur ont donné des résultats dans le même sens. Nous voyons notamment dans les tableaux de M. Pagnoul que des betteraves qui ont reçu une copieuse fumure de fumier de ferme, associée à du sulfate d'ammoniaque, n'ont accusé à l'analyse que 5 p. 100 de sucre, tandis que celles qui n'avaient pas été fumées en donnent 12 p. 100. Les betteraves les plus sucrées qu'ait recueillies M. Thurot sont celles qui sont venues sans engrais.

La pratique agricole semble du reste confirmer le principe que nous venons d'établir, car aujourd'hui les fabricants de sucre ne se contentent pas de fournir de bonnes graines aux cultivateurs, ils leur interdisent aussi l'emploi de certains engrais riches en azote. Ainsi les substances azotées employées dans une certaine mesure sont certainement indispensables au développement de la betterave, mais un excès semble nuire à la production du sucre (1).

(1) On saisit ici l'origine des difficultés qui s'élèvent entre les fabricants et les cultivateurs, et il est certain que tant que l'achat des betteraves aura lieu au poids, le cultivateur sera conduit à fumer fortement pour pousser ses rendements à 40.000, 50.000, 60.000 kilog ; il obtiendra ainsi des betteraves aqueuses, azotées, peu sucrées, au détriment du fabricant, mais à son grand avantage à lui cultivateur, puisqu'il obtiendra d'un hectare 1.000 ou 1.200 francs au lieu de 700 francs que lui donneraient 35.000 kilog obtenus sous l'influence d'une fumure modérée; il est clair que le seul remède à cette situation fâcheuse, qui menace l'avenir de la sucrerie française, serait la substitution de l'achat à la richesse à l'achat au poids; la difficulté est de trouver un moyen d'analyse exact et rapide ; mais il est possible de construire des tables où la richesse de la betterave se déduit de la densité du jus, facile à constater au moyen d'un aéromètre, le problème avan-

En résumé, les faits que nous avons observés pendant cette première campagne nous permettent de poser les conclusions suivantes :

1° Les betteraves peuvent arriver à un développement normal dans un sol absolument privé d'humus, à la condition d'être arrosées régulièrement et de recevoir des engrais renfermant de l'azote, de l'acide phosphorique, de la chaux et de la potasse.

2° Si nous ne considérons que le développement de la betterave, la forme sous laquelle l'azote est employé paraît indifférente, l'azotate de soude, l'azotate de potasse, le sulfate d'ammoniaque, la matière organique azotée, exercent tous une action manifeste.

3° Les betteraves cultivées dans un sol artificiel agissant comme un support et alimentées par des engrais chimiques convenablement choisis peuvent contenir jusqu'à 18 p. 100 de sucre.

4° La nature du sol ne paraît pas exercer d'influence sensible sur le développement des betteravés : nous avons obtenu les mêmes résultats dans des sols formés de silice pure, de calcaire ou d'un mélange de silice, de calcaire et d'argile.

5° Les faits que nous avons observés cette année paraissent établir que les betteraves riches en sucre sont pauvres en matières albuminoïdes, tandis que les betteraves qui contiennent une forte proportion de substance azotée renferment peu de sucre.

Si donc il est important dans la culture de la betterave de choisir avant tout une graine de bonne nature, il faut savoir aussi qu'on peut obtenir de mauvaises betteraves lorsque les bonnes graines sont semées dans un sol qui contient une proportion exagérée d'engrais azotés.

En terminant, nous sommes heureux de dire ici que, dans le cours de nos expériences, M. Decaisne a bien voulu nous aider constamment de ses bons conseils, qui ont pris le caractère d'une véritable collaboration.

---

cera donc vers la solution, les cultivateurs accepteront sans difficultés un moyen de contrôle qu'ils sont à même d'employer eux-mêmes. Le lecteur consultera sur ce point, avec grand avantage, un mémoire de M. Durin ; il y verra que la densité du jus donne une indication suffisante sur la quantité de sucre contenue dans la betterave, pour qu'il soit possible de baser sur la détermination de cette densité un mode d'achat régulier.



§ 7

RECHERCHES SUR LA FERMENTATION LACTIQUE (1)

Ce mémoire a pour but de faire connaître les circonstances précises dans lesquelles se forme l'acide lactique.

En consultant les travaux qui ont été publiés sur cet acide, on reconnaît que si ses propriétés et sa composition sont bien connues, il existe encore beaucoup d'incertitude sur les causes véritables de sa formation.

L'acide lactique est cependant un des plus importants que nous offre la chimie organique; il se rencontre dans presque tous les liquides de l'organisation animale, dans les sucs des végétaux, et enfin personne n'ignore qu'il est un des produits de l'altération qu'éprouve le lait lorsqu'il s'aigrit.

Nous avons réuni, sous la dénomination générale de *fermentation lactique*, tous les phénomènes qui accompagnent la formation de l'acide lactique, et nous démontrerons dans le cours de ce Mémoire qu'il existe une analogie incontestable entre la fermentation alcoolique et la fermentation lactique, et que les résultats si remarquables qu'on obtient dans les deux cas sont produits sous l'influence de forces semblables.

Toutes les expériences qui ont été faites sur la fermentation, et celles que nous avons consignées dans ce Mémoire, démontrent que les phénomènes qui l'accompagnent sont produits sous l'influence de substances azotées, qui sont soumises à une force particulière de décomposition, et qui ont la propriété d'entraîner certains corps avec lesquels on les met en contact. On comprend alors tout l'intérêt que peut offrir l'étude des décompositions qu'éprouvent les substances animales, car, en les appliquant convenablement, on doit trouver en elles une force puissante, qui peut produire des corps nouveaux, et dont l'origine et le mode de formation peuvent nous mettre sur la voie des procédés que la nature emploie pour donner naissance aux substances que nous rencontrons dans l'organisation végétale. Ainsi, la fermentation n'est plus un fait détaché qui s'applique seulement à la décomposition que le sucre éprouve quand on le met en présence de la levure de bière ; c'est une réaction qui devient générale. *Il est bien démontré maintenant que l'on rencontre une grande quantité de matières organiques qui peuvent se modifier sous l'influence des ferments ; qu'un même ferment ne paraît pas propre à déterminer des fermentations différentes ; enfin, que chaque matière demande, pour fermenter, un ferment spécial.* Faut-il ici, pour prouver ce que nous avançons, citer les faits qui sont acquis à la science et dont le nombre s'étend chaque jour ? Nous rappellerons l'action de la diastase sur l'amidon, celle de l'émulsine sur l'amyg-

(1) Ce travail a été publié en collaboration avec M. Boutron en 1841. La date de cette publication est déjà ancienne : si je reproduis ici ce Mémoire, c'est qu'il a introduit dans la science un certain nombre d'idées nouvelles sur les fermentations.

daline, la production de l'huile de moutarde sous l'influence d'une matière albumineuse, la transformation de la pectine en acide pectique, etc., etc.

Il faut reconnaître que ces transformations doivent jeter le plus grand jour sur certains phénomènes de physiologie végétale, qui jusqu'alors sont restés obscurs.

En rencontrant l'acide lactique dans des liquides d'origine tout à fait différente, nous avons dû penser que plusieurs matières animales étaient propres à déterminer sa formation. La fermentation lactique devait avoir ce point commun avec la fermentation alcoolique. C'est ainsi que nous avons été conduits à étudier le genre d'altération que les matières animales peuvent éprouver quand on les expose à l'air, et l'action qu'elles exercent, pendant les périodes successives de leur décomposition, sur les matières neutres avec lesquelles on les met en contact.

Or, dans cette étude, nous avons été frappés d'une circonstance qui nous a paru avoir une grande importance pour la question que nous voulions résoudre. Nous avons remarqué que le sucre qui nous servait pour faire nos expériences se transformait quelquefois, sous l'influence de certaines matières animales, en acide lactique pur. Cette transformation était nette et n'était point accompagnée de produits secondaires. Souvent, au contraire, la même matière animale, préparée d'une manière semblable, modifiait le sucre autrement, ne formait que très peu d'acide lactique, produisait des quantités considérables de mannite et de matière visqueuse, souvent même transformait le sucre en alcool et en acide carbonique.

En étudiant ces phénomènes avec soin, nous sommes arrivés à reconnaître que la nature des produits obtenus par la fermentation dépend uniquement de l'état de la matière animale qui donne lieu à cette fermentation ; et qu'une même matière animale, en passant rapidement par plusieurs degrés de décomposition, peut réagir différemment suivant l'altération qu'elle a éprouvée. C'est ainsi, par exemple, que la diastase, qui peut, comme chacun le sait, transformer l'amidon en dextrine et en sucre, devient propre à former de l'acide lactique quand on l'a exposée pendant quelque temps à l'air humide.

Il nous serait facile de citer des faits nombreux bien connus de tous les chimistes et qui prouvent que la force de fermentation peut être modifiée par l'état des ferments, et qu'elle peut même se développer dans un corps qui ne la possédait pas d'abord. Ne sait-on pas, en effet, depuis les expériences de Thénard sur l'albumine, que ce corps peut être laissé pendant deux mois en contact avec le sucre sans le faire fermenter, et que ce n'est qu'après ce temps qu'il le transforme en alcool et en acide carbonique? On se rappelle aussi que c'est en traitant la levure de bière par certains agents chimiques qu'on la rend propre à produire la fermentation visqueuse. Il résulte donc de tous ces faits qu'un ferment, en raison même de la propriété qu'il possède de donner lieu à une fermentation, est de sa nature éminemment altérable, et que, selon son degré d'altération, il peut avoir des effets différents; que, lorsqu'on veut étudier les changements qu'un ferment produit sur un corps, il faut toujours tenir compte de l'état du ferment que l'on emploie, et s'assurer que, pendant la fermentation, il n'éprouve pas de modification.

Sans cette précaution, au lieu d'avoir le résultat de l'action d'un seul ferment sur une matière organique, on n'aurait que les produits compliqués d'une série de ferments agissant chacun différemment.

Pour appuyer ce que nous venons d'avancer, nous dirons que les membranes fraîches peuvent, dans certaines conditions atmosphériques, éprouver une décomposition très rapide, et qu'en parcourant les différents degrés de décomposition, elles deviennent propres à former successivement, quand on les met en contact avec du sucre, d'abord de l'acide lactique, puis de la mannite, une matière visqueuse, enfin de l'alcool et de l'acide carbonique.

En employant donc une membrane qui s'altère, on n'obtient que des produits compliqués; les phénomènes perdent toute leur simplicité. Mais lorsque, au contraire, on saisit le moment où la membrane peut produire la fermentation lactique, en la mettant alors en contact avec du sucre, on reconnaît que, dans ce cas, ce dernier est complètement transformé en acide lactique.

Avant d'entrer dans l'examen particulier des réactions sous l'influence desquelles se forme l'acide lactique, nous exposerons ici les conditions générales qui caractérisent la fermentation lactique.

On avait pensé, jusqu'à présent, que l'acide lactique se produisait rarement seul, mais qu'il était un des résultats de la fermentation qui porte le nom de fermentation visqueuse. Nous avons reconnu, au contraire, qu'il existe un certain nombre de corps neutres qui peuvent se transformer entièrement en acide lactique pur. Presque toutes les matières organisées et contenant de l'azote, d'origine végétale ou animale, peuvent, lorsqu'elles ont éprouvé à l'air une modification, devenir propres à déterminer la fermentation lactique; mais elles n'arrivent pas toutes à posséder cette propriété avec la même intensité. La diastase et le caséum paraissent en être doués à un très haut degré.

L'air n'intervient par ses éléments dans la fermentation lactique que parce qu'il transforme la matière animale en ferment lactique; mais lorsque la modification de la matière animale est opérée, la fermentation se continue sans la présence de l'air.

Les différents agents qui arrêtent la fermentation alcoolique peuvent aussi arrêter la fermentation lactique.

Les substances neutres qui ont la même composition élémentaire que l'acide lactique éprouvent la fermentation lactique; nous avons reconnu que la dextrine et le sucre de lait se changent en acide lactique avec une grande facilité.

Après avoir fait connaître les caractères de la fermentation lactique, nous allons passer successivement en revue les divers cas dans lesquels se forme l'acide lactique, en insistant sur ceux qui peuvent offrir de l'importance sous le rapport théorique ou par leurs applications. Comme nous avons indiqué d'une manière précise les circonstances qui peuvent rendre une fermentation lactique compliquée, nous allons démontrer par quelques exemples toute la simplicité que présente la fermentation lactique, quand on a su la débarrasser des phénomènes accessoires qui l'accompagnent souvent.

On sait que les liquides contenus dans l'estomac peuvent, dans certaines conditions, présenter une réaction fortement acide. Or, les analyses qui ont été faites à ce sujet démontrent dans ces liquides la présence de l'acide lactique. Nous

avons dû chercher à expliquer comment cet acide se formait ; nous avons examiné d'abord l'action que les matières animales tenues en dissolution dans les liquides de l'estomac pouvaient exercer sur quelques corps neutres. Nos expériences ont été faites avec le sucre, la gomme, le sucre de lait, l'amidon et la dextrine. En exposant successivement ces substances neutres avec les matières animales contenues dans l'estomac à une température de 30 à 35°, nous avons vu qu'elles pouvaient se transformer en partie en acide lactique. Mais cette modification n'a pas présenté la netteté que nous désirions, les produits de la fermentation étaient évidemment complexes ; cela tenait à la facile altération des matières qui devaient déterminer la fermentation lactique.

Nous avons abandonné ce genre d'expériences, dans lequel il nous était impossible d'éviter les altérations rapides du ferment, pour examiner l'action des membranes sur les substances neutres. Nos essais ont été faits, en général, avec des membranes d'estomac de chien ou de veau que nous avions soin de laver pendant longtemps à grande eau. Nous avons remarqué que les membranes fraîches n'exercent pas d'action appréciables sur les matières neutres, mais quand elles ont été conservées pendant quelque temps dans l'eau, elles acquièrent alors la propriété de transformer rapidement les matières neutres en acide lactique.

Dans beaucoup de cas, nous avons vu une membrane donner lieu à une fermentation lactique bien tranchée, mais nous devons dire que le plus ordinairement l'action est compliquée et que les produits de fermentation sont nombreux.

Comme dans les expériences que nous avions entreprises il nous était souvent arrivé de voir une membrane produire une fermentation lactique simple, nous ne pouvions douter que les autres produits ne fussent le résultat de l'altération si rapide qu'éprouve une membrane fraîche quand on la met dans l'eau. Toute notre attention devait donc se porter sur le moyen de produire avec une matière animale une fermentation lactique simple et constante. Après bien des essais infructueux, nous avons reconnu qu'il était presque impossible d'arriver au but que nous nous proposions en opérant avec une matière animale dont l'altération était rapide et surtout ne pouvait être arrêtée, et qu'il fallait, au contraire, en employer une qui ne fût plus soumise à la force de désorganisation et chez laquelle on pût développer cette force à volonté. C'est ainsi que nous avons été conduits à étudier l'action des membranes sèches sur les corps neutres.

On sait que lorsqu'une vessie a été convenablement desséchée, elle peut se conserver indéfiniment quand on la laisse dans l'air sec ; mais lorsqu'on l'expose à l'air humide elle ne tarde pas à s'altérer et à donner des signes manifestes de décomposition. Si dans cet état on la met en contact avec du sucre de canne ou du sucre de lait, elle les transforme alors en acide lactique ; nous regardons ce fait comme décisif ; il démontre suffisamment que certaines substances d'origine animale peuvent transformer les corps neutres en acide lactique pur. Cette expérience offre une difficulté que chacun appréciera facilement. Il est important que la membrane soit arrivée à un état convenable de modification, pour déterminer la fermentation lactique, et l'on ne peut reconnaître cet état qu'en soumettant à son action les corps que l'on veut faire fermenter.

Peut-être est-ce ici le lieu d'indiquer qu'en soumettant à l'action d'une membrane convenablement modifiée une dissolution de sucre, il nous est arrivé souvent de la transformer entièrement en un acide que nous avons confondu pendant longtemps avec l'acide lactique, mais qui en diffère par un caractère particulier. Cet acide est soluble dans l'eau ; il forme comme l'acide lactique avec tous les oxydes métalliques des sels solubles. Si on le sature par la chaux, il donne naissance, comme l'acide lactique, à un sel qui cristallise en petits mamelons parfaitement blancs; mais ce sel est insoluble dans l'alcool, tandis que le lactate de chaux s'y dissout très bien. Dans l'impossibilité où nous avons été de reproduire cet acide à volonté, nous n'avons pu l'étudier ni analyser un de ses sels.

Des expériences que nous venons de rapporter, nous sommes donc fondés à déduire que presque toutes les matières animales peuvent transformer certains corps neutres en acide lactique, mais que cette transformation ne se produit d'une manière nette que lorsqu'on peut arrêter la décomposition rapide que les matières animales éprouvent dans un grand nombre de cas.

Nous allons maintenant rendre compte des expériences que nous avons faites pour expliquer la présence de l'acide lactique dans l'organisation végétale. On rencontre souvent l'acide lactique à l'état libre ou à l'état de combinaison dans les sucs de certains végétaux. Des expériences nombreuses ont démontré que cet acide se forme souvent dans le jus de la betterave aux dépens du sucre qu'il contient. Nous avons pensé qu'il serait intéressant, sous le point de vue théorique comme sous celui des applications, de déterminer dans quelles circonstances se produit la fermentation lactique dans les végétaux.

L'action des membranes sur le sucre nous donnait le droit de penser que l'acide lactique devait se produire par l'action de la matière albumineuse sur le sucre que les végétaux contiennent. Nous n'avons pas tardé à reconnaître que l'albumine végétale modifiée à l'air peut souvent transformer le sucre en acide lactique, mais que cette réaction dépend de l'état d'altération dans lequel elle se trouve. Or, comme jusqu'à ce jour nous ignorons tout à fait les propriétés de cette albumine qui, cependant, peut jouer un rôle bien important dans l'organisation végétale, il ne nous a pas été possible de produire une fermentation lactique simple avec l'albumine végétale retirée de tous les sucs végétaux. Nous avons donc dû négliger les cas qui nous ont paru présenter une certaine complication, et nous nous sommes arrêtés au suivant, qui est un des plus simples que l'on puisse observer.

On connaît l'action remarquable que la diastase exerce sur l'amidon ; on sait qu'elle le transforme rapidement en dextrine et en sucre. Si, au lieu de faire réagir sur de l'amidon de la diastase nouvellement préparée, on emploie de la diastase qui a été exposée pendant deux ou trois jours à l'air humide, elle éprouve alors une modification, et elle acquiert la propriété de transformer l'amidon en acide lactique, en le faisant passer probablement par l'état intermédiaire de dextrine. Cette modification est rapide; elle se fait ordinairement sans dégagement de gaz et à l'abri du contact de l'air. Si la diastase ne s'était pas entièrement modifiée, elle pourrait former une certaine quantité de sucre qui, sous l'influence de la matière animale, fermenterait et donnerait de l'alcool

et de l'acide carbonique ; mais il est évident que ce phénomène est indépendant de la fermentation lactique. Nous avons pu former ainsi une assez grande quantité d'acide lactique en nous fondant sur la réaction que nous venons d'indiquer. Nous prenons de l'orge germée que nous humectons légèrement et que nous exposons à l'air pendant deux ou trois jours ; nous la broyons et nous la mettons dans l'eau, en ayant soin de tenir le vase à une température de 20 à 25°. La liqueur s'échauffe et devient après peu de jours fortement acide. On peut alors la filtrer, la saturer par la chaux, et faire cristalliser le lactate de chaux dans l'alcool. On se débarrasse de cette manière de la grande quantité de phosphate de chaux et de magnésie, et de dextrine que l'acide lactique retient en dissolution. Dans cette circonstance la fermentation lactique est parfaitement nette et n'est jamais accompagnée de produits secondaires ; nous n'avons jamais en effet trouvé de mannite dans la liqueur.

Il est donc bien certain que les matières albumineuses que l'on rencontre dans les végétaux peuvent, par leur altération à l'air, devenir propres à déterminer la fermentation lactique, et que la diastase altérée est remarquable par la facilité avec laquelle elle la produit.

La netteté de l'expérience que nous venons de rapporter dépend évidemment de la nature du ferment et de la fixité de la dextrine, qui n'a pas comme le sucre la propriété de donner lieu à des phénomènes variés sous l'influence de différentes matières animales.

Lorsqu'on reconnaît la manière simple dont s'opère la modification que nous venons de signaler, la facilité avec laquelle elle se produit, n'est-on pas tenté de la regarder comme analogue à celle qui a lieu journellement dans les végétaux, et tout ne porte-t il pas à croire que ces apparitions subites d'acides organiques dans certains fruits sont dus à des phénomènes du même ordre? Nous aurions pu citer ici des expériences nombreuses que nous avons faites pour expliquer la formation de l'acide lactique dans l'organisation végétale ; mais nous avons pensé que le fait que nous venons de rapporter pouvait servir à expliquer tous les autres, et qu'il démontrait qu'une matière azotée d'origine végétale, peut, lorsqu'elle a été exposée à l'air, transformer un corps neutre en acide lactique pur.

Nous rappellerons seulement ici que la production de l'acide lactique dans l'eau sure des amidonniers est le résultat d'une fermentation lactique bien nette.

Nous avons dit précédemment qu'une température de 100° pouvait arrêter la fermentation lactique ; lorsqu'en effet on porte à l'ébullition une dissolution d'orge germée obtenue dans les circonstances que nous venons d'indiquer, la fermentation lactique se trouve immédiatement suspendue ; nous avons reconnu que le ferment n'était pas entièrement détruit, et que sous certaines influences atmosphériques, lorsqu'on ne l'avait pas chauffé trop longtemps, il pouvait reprendre en partie son énergie, et devenir apte à produire encore de l'acide lactique. Les matières animales que l'on trouve dans les fruits jouissent aussi de cette propriété. Ce fait nous a paru important, parce que nous pensons qu'il peut expliquer certains accidents qui se présentent dans la fabrication du sucre. On sait en effet que l'on a proposé de dessécher les betteraves et les cannes à sucre, de les garder en cet état en magasin pour

retirer ensuite le sucre qu'elles contiennent dans un moment plus favorable au travail. La dessiccation n'a pas seulement pour objet, dans ce cas, d'enlever l'eau que les végétaux contiennent, mais encore de coaguler la matière albumineuse, et d'empêcher ainsi l'action qu'elle peut exercer sur le sucre. Nous nous sommes assurés que les ferments contenus dans les matières desséchées peuvent reprendre leur première force et transformer le sucre en acide lactique. En examinant des cannes desséchées, nous les avons souvent trouvées fortement acides. Nous laissons aux personnes qui connaissent la fabrication du sucre le soin d'apprécier tout le dommage qu'un pareil accident peut occasionner dans cette industrie.

Pour terminer ce que nous avons à dire sur les phénomènes qui accompagnent la fermentation lactique dans les végétaux, nous ferons connaître un fait qui vient confirmer l'opinion que nous avons émise en commençant, sur les modifications successives qu'éprouvent les ferments. Jusqu'à présent, nous avons admis que les ferments jouissaient de forces variables, selon leur état de décomposition ; mais il ne nous avait pas été possible de caractériser les différentes espèces de ferments par des propriétés physiques particulières. En examinant avec soin les phénomènes que présente la fermentation de l'orge germée, nous avons pu reconnaître dans quel ordre les modifications des ferments s'opéraient, et il nous a même été possible de saisir le moment où elles prenaient naissance.

Il est bien évident d'abord que c'est la diastase qui se forme en premier lieu ; sa présence se révèle par l'action qu'elle exerce sur l'amidon qu'elle convertit en sucre ; puis on reconnaît à l'acidité de la liqueur que c'est le ferment lactique qui prend naissance en second lieu. Il arrive enfin un moment où la liqueur, qui était transparente, se trouble, et le précipité qui en résulte est le corps qui peut produire la fermentation alcoolique ; et c'est à cette époque seulement que l'alcool se forme et que l'acide carbonique se dégage. Pour se convaincre que c'est bien à ce précipité insoluble qu'on doit attribuer la fermentation alcoolique, on peut filtrer la liqueur pour séparer le ferment, et aussitôt on voit s'arrêter la fermentation alcoolique. Ce fait s'accorde parfaitement avec toutes les observations qui ont été faites sur la fermentation alcoolique.

Il nous restait enfin à examiner un cas de fermentation lactique qui n'est pas moins intéressant que ceux que nous avons passés en revue jusqu'ici, et qui nous a permi de préparer de l'acide lactique en quantité notable : nous voulons parler de la formation de l'acide lactique dans le lait qui s'aigrit. On sait que lorsqu'on expose le lait à l'air, il s'altère rapidement et se sépare en deux couches ; l'une qui est liquide, et qui porte le nom de petit-lait ; l'autre qui est insoluble, et qui contient une certaine proportion de matière grasse, et un corps blanc, abondant, connu sous le nom de caséum coagulé. Ce petit-lait présente une réaction acide ; si on examine le caséum coagulé, on reconnaît aussi que cette matière, mise sur un papier de tournesol, le rougit très sensiblement. L'acide qui s'est formé est de l'acide lactique. Nous allons essayer de rendre compte de cette modification remarquable, qui jusqu'à présent n'avait pas été convenablement expliquée. Comme on a reconnu que tous les acides ont la propriété de se combiner avec le caséum pour former des composés insolubles,

on explique d'abord facilement la cause de la coagulation du lait, dans cette circonstance, en admettant qu'il s'est formé une certaine quantité d'acide lactique qui, en se combinant avec le caséum, a produit un précipité blanc. Ce précipité peut, d'ailleurs, être obtenu immédiatement en versant dans le lait un peu d'acide lactique. Nous avons voulu déterminer ensuite quel était le corps qui dans ce cas produisait l'acide lactique, et quel était le ferment qui opérait cette transformation.

Les expériences que nous avons faites précédemment sur la fermentation lactique nous donnaient lieu de croire que le corps qui se transformait en acide lactique était le sucre de lait, et que le ferment était le caséum.

Cette manière de voir se trouvait cependant en contradiction avec un fait bien connu, c'est que, lorque le lait s'est aigri, on retrouve encore dans le petit-lait une proportion considérable de sucre de lait; et, comme il se trouve dans le lait une grande quantité de caséum, il paraissait étonnant que ce dernier n'eût pas transformé tout le sucre de lait en acide lactique. En examinant avec soin le précipité formé spontanément dans le lait aigri à l'air, nous avons reconnu que ce corps devait être considéré comme une véritable combinaison de caséum et d'acide : on comprend alors que le caséum combiné avec un acide ne puisse plus déterminer l'acidification du sucre de lait. Pour vérifier si notre opinion était fondée, nous avons cherché à rendre au caséum sa solubilité en versant dans du lait coagulé une petite quantité de bicarbonate de soude ; le caséum alors est redevenu soluble et a pu agir sur une nouvelle quantité de sucre de lait, pour le convertir en acide lactique. Après vingt-quatre ou trente heures, le lait s'étant coagulé de nouveau, nous avons pu y ajouter une nouvelle dose de bicarbonate de soude, et continuer ainsi jusqu'à ce que tout le sucre de lait contenu dans le lait fût transformé en acide lactique. Deux litres de lait ont saturé environ 75 grammes de bicarbonate de soude, et il nous a été impossible de retrouver dans le produit de l'évaporation la plus petite quantité de sucre de lait, ce qui prouve que tout avait été transformé en acide lactique.

Afin de ne conserver aucun doute sur le genre d'action que le caséum exerçait sur le sucre de lait, nous avons laissé coaguler du lait à l'air, nous avons jeté le précipité sur un filtre, et nous l'avons lavé jusqu'à ce que l'eau de lavage ne fût plus acide. Nous avons pris ce caséum, nous l'avons fait dissoudre dans du bicarbonate de soude, et nous avons mis cette dissolution en contact avec du sucre de lait du commerce ; nous avons vu alors la liqueur devenir à plusieurs reprises fortement acide ; nous l'avons saturée chaque fois avec du bicarbonate de soude, et nous avons pu retirer de cette liqueur une grande quantité d'acide lactique. Or, si chaque matière neutre doit avoir son ferment particulier, nous croyons pouvoir assurer que le véritable ferment du sucre de lait est le caséum, ou tout au moins qu'il est au sucre de lait ce que la levure de bière est au sucre de canne.

On sait que le lait coagulé s'altère assez promptement quand il est exposé à l'air et qu'il finit par présenter tous les phénomènes de la putréfaction des matières animales. Nous avons vu que le caséum qui agit sur le sucre de lait pour former de l'acide lactique peut se conserver pendant longtemps sans donner de signes de décomposition ; l'action qu'il exerce sur un autre corps le préserve

en quelque sorte de sa propre altération. Pour le prouver, nous avons divisé une certaine quantité de lait en deux parties; l'une a été traitée par le bicarbonate de soude, l'autre a été exposée à l'air ; cette dernière était putréfiée depuis longtemps, lorsque l'autre ne présentait aucune trace de décomposition. Nous pensons cependant que le caséum n'a pas la faculté de transformer indéfiniment le sucre de lait en acide lactique ; nous nous sommes même assurés qu'il finit par perdre cette propriété. Mais lorsque son action sur le sucre de lait est épuisée, peut-être est-il susceptible de déterminer une autre espèce de fermentation ? c'est un point important que nous nous proposons d'examiner par la suite.

Le procédé que nous employons pour préparer l'acide lactique et les lactates est si simple que nous sommes persuadés qu'il sera suivi désormais. Le voici : on prend trois ou quatre litres de lait, dans lequel on verse une dissolution de deux ou trois cents grammes de sucre de lait. On abandonne la liqueur à l'air, dans un vase ouvert, pendant quelques jours, à la température de 15 à 20° centigrades. On reconnaît après ce temps que la liqueur est devenue très acide; on la sature par le bicarbonate de soude. Après vingt-quatre ou trente-six heures elle redevient acide, on la sature de nouveau, et ainsi de suite jusqu'à ce que tout ce sucre de lait soit converti en acide lactique. Quand on juge que la transformation est complète, on fait bouillir le lait pour coaguler le caséum, on filtre et on évapore le liquide en consistance sirupeuse avec précaution, à une température peu élevée. Le produit de l'évaporation est repris par l'alcool à 38°, qui dissout le lactate de soude. On verse alors dans cette dissolution alcoolique de l'acide sulfurique en quantité convenable qui forme du sulfate de soude qui se précipite, et la liqueur filtrée et évaporée peut donner de l'acide lactique presque pur. Pour l'obtenir à l'état de pureté on le sature par la craie ; il se forme du lactate de chaux, qui cristallise immédiatement en mamelons tout à fait blancs, et dont on peut retirer l'acide lactique par les procédés ordinaires.

Il est évident qu'on pourrait saturer l'acide lactique par toute autre base (1) et obtenir en très peu de temps des lactates cristallisés. Nous n'avons vu, dans les expériences que nous avons faites sur la fermentation du lait, le sucre de lait se transformer en alcool et en acide carbonique que lorsque la liqueur était restée acide pendant longtemps. Nous pensons donc que le sucre de lait n'éprouve la fermentation alcoolique que lorsqu'il a été transformé en sucre de raisin par un acide.

Tels sont les faits qui constituent ce que nous avons cru devoir appeler *la fermentation lactique*. Nous espérons qu'à une époque où les nombreuses expériences qui ont été faites sur les matières organiques nous ont fait connaître les altérations ou les transformations qu'elles éprouvent sous l'influence d'agents chimiques pourvus d'une grande énergie, on nous saura quelque gré d'avoir étudié un genre de réaction qui peut nous mettre sur la voie des moyens que la nature emploie pour déterminer la formation de certains acides dans les végétaux.

(1) Nous avons appris dernièrement que, d'après les indications que nous lui avions données, un fabricant de produits chimiques retire l'acide lactique de l'eau sure des amidonniers, en les saturant par du carbonate de chaux.

§ 8

FERMENTATIONS ET GÉNÉRATION DES FERMENTS

Les questions qui concernent les fermentations et la génération des ferments m'ont occupé constamment dans mes recherches sur la chimie des végétaux.

J'ai toujours pensé que cette étude pourrait seule jeter quelque jour sur la production des principes organiques qui se trouvent dans les végétaux et sur leurs transformations qui s'opèrent le plus souvent par l'action des ferments.

Je vais résumer ici les expériences que j'ai faites sur les fermentations et les idées nouvelles que j'ai émises sur ces importantes questions.

Je dois faire connaître d'abord le sens et la portée que j'attache aux expressions de *fermentation* et de *ferment*.

Pour moi, les phénomènes de fermentation sont beaucoup plus étendus qu'on ne l'admet généralement et embrassent un grand nombre de décompositions organiques.

Lorsque les corps créés par l'organisation végétale et animale ont accompli leur rôle physiologique, j'admets qu'ils sont soumis, dans les organes mêmes, à une force de décomposition qui les modifie, les dédouble et finit par les détruire complètement : leurs éléments sont alors restitués à l'air et au sol, sous une forme qui se prête à l'assimilation végétale et concourent au développement des organismes nouveaux.

C'est la *fermentation* qui produit ce grand phénomène de rotation organique.

Mais ce retour à l'air et au sol des éléments qui constituaient les organismes ne se fait pas spontanément et exige l'intervention d'agents spéciaux que l'on désigne sous le nom de *ferments*.

Ce sont les ferments qui donnent de la mobilité aux molécules organiques, qui les modifient et qui déterminent, avec le concours de l'air, leur décomposition finale.

La définition des ferments que j'adopte ici est donc basée uniquement sur la destruction que ces agents font éprouver aux substances organiques, *et nullement sur leur forme ou leurs fonctions physiologiques*.

Les dédoublements des matières organiques sous l'influence des ferments et les combustions lentes appartiennent, comme on le voit, aux mêmes phénomènes et sont produits par les mêmes causes.

Après avoir défini les ferments, il s'agit de rechercher quel est leur mode de génération.

Les ferments sont-ils engendrés par les poussières de l'air, comme le pense M. Pasteur, ou sont-ils créés directement par les corps organiques vivants, comme je le soutiens ?

Un milieu fermentescible, dans sa décomposition, est-il livré au hasard des particules solides que l'air lui donne, ou trouve-t-il dans sa propre substance cette force qui lui permet de restituer, au moment voulu, ses éléments à l'air et au sol ?

L'air, au lieu d'apporter des germes de ferments, n'agit-il pas simplement dans certaines fermentations en donnant au milieu fermentescible l'oxygène qui est indispensable à tout développement organique ?

Telles sont les questions importantes que j'ai abordées dans des mémoires déjà anciens.

Dès l'année 1841, je publiais, en collaboration avec M. Boutron, un premier Mémoire sur *la fermentation lactique*, dans lequel se trouve le germe des idées que j'ai développées plus tard sur les fermentations.

Il est dit en effet dans ce travail, que chaque espèce de fermentation est produite par un ferment spécial; le ferment qui aigrit le lait n'étant pas le même que le ferment alcoolique, nous lui avons donné le nom de *ferment lactique;* nous avons admis, en outre, que la caséine peut donner naissance à plusieurs espèces de ferments *lorsqu'on la place dans des circonstances différentes :* tantôt elle produit le ferment alcoolique, tantôt c'est le ferment lactique qu'elle engendre.

Ainsi la formation de plusieurs espèces de ferments par la substance azotée du lait et *l'influence des milieux* sur la production des différentes sortes de ferments, se trouvent nettement énoncées dans ce premier Mémoire sur la fermentation lactique.

J'ai confirmé le mode de génération des ferments par les substances azotées, dans un autre travail dont le but était de démontrer que certaines membranes animales peuvent transformer les substances organiques neutres en acide lactique.

Étudiant ensuite, dans plusieurs autres publications, la production des ferments que contiennent les cellules végétales, j'ai attribué *à cette génération intracellulaire des ferments* certains phénomènes essentiels de l'organisation végétale.

C'est ainsi que dans mes recherches sur la maturation des fruits, pour expliquer tous ces changements qui se produisent dans les cellules et qui font que les fruits, d'abord acides et astringents, deviennent sucrés et perdent ensuite complètement leur sucre, j'ai admis, dans les fruits, la formation intracellulaire de différents ferments qui, sous l'influence de l'air, déterminent successivement la combustion lente du tannin, puis celle des acides et ensuite celle du sucre.

Dans mes travaux sur les substances gélatineuses des végétaux, je crois avoir démontré aussi que les transformations successives éprouvées par ces corps, pendant la végétation, doivent être attribuées à l'influence d'un ferment particulier que j'ai désigné sous le nom de *pectase*, qui est engendré par la végétation dans l'intérieur des cellules.

Plus tard, voulant caractériser d'une manière spéciale ces substances organiques, que je considère comme *vivantes*, et qui au contact de l'air engendrent des ferments, je leur ai appliqué la dénomination générale de *corps hémiorganisés;* en adoptant ce nom, j'ai voulu rappeler que les corps qui produisent les ferments ont souvent une organisation incomplète; ils peuvent être gélatineux; leur forme est insaisissable au microscope.

Ainsi tous mes travaux tendaient à établir que plusieurs ferments étaient engendrés par les milieux organiques.

C'est cette théorie de la génération des ferments que j'ai désignée sous le nom d'*hémiorganisme.*

Elle diffère sous tous les rapports de la théorie de M. Pasteur.

Pour M. Pasteur, tous les ferments proprements dits dérivent de parents semblables à eux et *viennent toujours de l'extérieur ;* ils sont produits par des *germes* que l'air tient en suspension et qu'il sème dans les milieux fermentescibles.

M. Pasteur admet que tous les ferments viennent de l'*extérieur;* moi, je soutiens qu'ils viennent de l'*intérieur* des organismes qui les engendrent, et que, dans cette génération, l'air intervient par son oxygène et non par ses poussières.

M. Pasteur soutient qu'une fermentation ne peut se produire que quand l'air est venu apporter aux milieux fermentescibles les germes qu'il tient en suspension.

Pour moi les poussières de l'air n'interviennent que rarement dans la génération des ferments; les milieux organiques sont doués *d'une force végétative* qui leur permet, au contact de l'air et par l'action de l'oxygène, de *créer* des ferments sans l'intervention des germes atmosphériques : cette production des ferments par les organismes vivants peut même, dans certains cas, se faire à l'abri de l'air.

Tel est le fond du débat qui s'est élevé entre M. Pasteur et moi.

Je n'ai pas l'intention de le ranimer : le temps démontrera de quel côté est la vérité.

Je me contenterai donc de reproduire ici quelques-unes de mes expériences sur la génération des ferments qui me paraissent confirmer la théorie de l'hémiorganisme.

Dans l'*Encyclopédie*, je ne veux citer le nom de M. Pasteur que pour exprimer toute mon admiration pour ses découvertes.

Expériences qui établissent la vitalité et la force végétative de certains liquides organiques.

La théorie de la génération des ferments, que je soutiens, repose sur le principe suivant : *c'est que les cellules vivantes*, et *certains liquides* qu'elles contiennent, possèdent une force d'organisation qui leur permet d'engendrer des ferments.

La vitalité des cellules dans lesquelles les ferments se produisent n'a pas besoin d'être démontrée; elle est admise par tout le monde. Mais il n'en est pas de même des liquides dans lesquels l'inspection microscopique ne permet pas souvent de distinguer des formes organiques bien nettes.

C'est donc la vitalité des liquides organiques qu'il s'agit d'établir par l'expérience.

Dans cette étude, il m'a paru d'abord indispensable de soumettre à une série d'essais les ballons à col effilé et recourbé qui ont été si souvent employés.

L'air qui rentre dans un ballon, après l'ébullition d'un liquide placé dans ce ballon à col effilé et recourbé, n'est-il pas altéré rapidement par l'action du liquide qui a conservé, même après l'ébullition, une certaine force végétative, comme cela arrive pour le lait?

En outre, les phénomènes de diffusion du gaz se produisent-ils dans un ballon dont le col est effilé et recourbé? Si la diffusion n'a pas lieu, les liquides organiques abandonnés dans un ballon à col effilé et recourbé ne se trouvent plus dans un air atmosphérique normal, quoique le col du ballon soit ouvert.

Alors, les phénomènes observés dans ces sortes d'appareils ne seraient pas dus seulement à l'absence des germes atmosphériques, mais aussi aux modifications que l'atmosphère des ballons a éprouvées dans sa composition chimique.

Les expériences consignées dans les tableaux suivants ont été instituées pour résoudre quelques-unes de ces questions.

ACTION DES DIFFÉRENTS LIQUIDES ORGANIQUES SUR L'AIR CONTENU DANS DES BALLONS A COL EFFILÉ ET RECOURBÉ

NUMÉROS	NATURE des substances mises en expérience.	DATE de la mise en expérience.	DATE de l'analyse.	TEMPÉRATURE du chauffage.	DURÉE du chauffage.	QUANTITÉS D'OXYGÈNE et d'acide carbonique contenues dans le ballon après l'expérience.	
						Oxygène pour 100 d'air.	Acide carbonique pour 100 d'air.
1	Lait normal	20 novemb.	23 novemb.	Non chauffé.		0	18
2	*Idem*	20 novomb.	25 novemb.	*Idem.*		0	19
3	*Idem*	27 novemb.	28 novemb.	*Idem.*		13	9
4	Lait récemmont trait	27 novemb.	28 novemb.	*Idem.*		17	0
5	*Idem*	27 novemb.	29 novemb.	*Idem.*		12	5
6	*Idem*	27 novemb.	2 décemb.	*Idem.*		0	22
7	Lait normal	2 mars.	20 novemb.	100°	10 minutes.	20	0
8	*Idem*	20 février.	20 novemb.	100°	15 minutes.	21	0
9	Lait récemment trait.	27 novemb.	2 décemb.	100°	2 minutes.	2	3
10	Lait normal	20 novemb.	23 novemb.	100°	5 minutes.	20	0
11	*Idem*	20 novemb.	2 décemb.	100°	5 minutes.	20	0
12	*Idem*	20 novemb.	23 novemb.	100°	15 minutes.	20	0
13	*Idem*	7 février.	19 novemb.	100°	30 minutes.	18	0
14	*Idem*	2 mars.	21 novemb.	100°	1 heure.	18	4
15	*Idem*	2 mars.	21 novemb.	100°	2 beures.	20	0
16	*Idem*	12 murs.	22 novemb.	100°	3 beures.	21	0
17	*Idem*	21 murs.	22 novemb.	100°	3 heures.	20	0
18	*Idem*	21 mars.	22 novemb.	100°	3 heures.	18	3
19	*Idem*	21 mars.	22 novemb.	100°	3 heures.	17	1
20	*Idem*	18 février.	23 novemb.	105°	15 minutes.	19	0
21	*Idem*	23 février.	13 novemb.	110°	30 minutes.	21	0
22	*Idem*	23 février.	23 novemb.	115°	1 heure.	21	0
23	*Idem*	5 mars.	23 novemb.	120°	1 heure.	21	0
24	*Idem*	6 mars.	23 novemb.	120°	1 heure.	21	0
25	Lait sucré	20 mars.	25 novemb.	Non chauffé.		0	19
26	*Idem*	20 mars.	25 novemb.	*Idem.*		0	18
27	*Idem*	26 mars.	25 novemb.	*Idem.*		1	18
28	*Idem*	26 mars.	25 novemb.	100°	2 minutes.	19	0
29	*Idem*	26 mars.	25 novemb.	100°	2 minutes.	16	18
30	Lait mélangé de carbonate de chaux	7 février.	24 novemb.	100°	30 minutes.	2,5	16
31	*Idem*	9 février.	27 novemb.	112°	1 heure.	17,5	2,5
32	*Idem*	6 mars.	27 novemb.	120°	1 houre.	16	6
33	Lait sueré et carbonate de chaux.	8 février.	27 novemb.	100°	10 minutes.	17	6
34	*Idem*	8 février.	27 novemb.	100°	30 minutes.	21	0
35	Moût de bière alcalin.	20 juillet.	26 novemb.	Non chauffé.		10	6
36	Moût do bière	23 juillet.	26 novemb.	*Idem.*		2	22
37	*Idem*	25 janvier.	26 novemb.	100°	30 minutes.	19	0
38	Jus de ruisin limpido	24 juillet.	26 novemb.	100°	4 heures.	21	0
39	Même jus + mercure	6 novemb.	28 novemb.	Non chauffé.		4	86
40	Jus de raisin troublo	6 novemb.	28 novemb.	*Idem.*		17	0
41	Jus filtré	10 octobre.	25 novemb.	*Idem.*		16	12
42	*Idem*	10 octobro.	25 novemb.	*Idem.*		11	21
43	*Idem*	7 octobre.	25 novemb.	100°	2 minutes.	21	0
44	Jus de raisin écluirei à l'air	2 mars.	25 novemb.	100°	2 minutes.	21	0
45	Pulpes de raisin + eau sueréo	2 mars.	25 novemb.	100°	2 minutes.	20	0
46	Eau diastasique suerée.	6 mai.	29 novemb.	Non chauffé.		21	0
47	Eau diastasique + eau de farino	6 mai.	29 novemb.	*Idem.*		0	12
48	Eau d'orge.	29 avril.	27 novemb.	15°	1 heure.	21	0
49	*Idem*	29 avril.	27 novemb.	15°	2 heures.	19	0
50	*Idem*	29 avril.	27 novemb.	15°	1 jour.	0	11
51	Orge broyéo + eau sucrée.	20 février.	21 novemb.	Non chauffé.		19	0
52	Orge broyée + oau sucrée.	30 déc. 1871.	21 novemb.	*Idem.*		19	0
53	Eau sucrée + levure.	21 févrler.	24 novemb.	100°	3 minutes.	21	0
54	Euu sucrée + levure	21 février.	24 novemb.	100°	15 minutes.	3	16
55	Bouillon de levuro	2 mars.	23 novemb.	Non chauffé.		3	14
56	Bouillon de levure + poussièros.	18 février.	23 novemb.	100°	15 minutes.	21	0
57	Jaune de l'œuf	25 novemb.	28 novemb.	Non chauffé.		0	13
58	Blune de l'œuf.	25 novemb	28 novemb.	*Idem.*		2	7
59	Sang défibriné	26 novemb.	28 novemb.	*Idem.*		0	7
60	Dissolution de gélatine du commerce	25 novemb.	28 novemb.	*Idem.*		20	0
61	Dissolution d'albumine desséchée.	25 novemb.	28 novemb.	*Idem.*		20	0
62	Infusion de noix de galle	11 janvier.	24 novemb.	100°	2 minutes.	20	0
63	Tannin.	11 janvier.	24 novemb.	100°	2 minutes.	18	0

Les expériences dont je viens de faire connaître les résultats conduisent aux conséquences suivantes :

1° Les liquides organiques abandonnés dans un ballon à col effilé, recourbé et ouvert, peuvent, suivant leur nature, agir sur l'atmosphère du ballon et modifier profondément sa composition. Dans ce cas, l'oxygène de l'air est absorbé par la substance organique et remplacé d'une manière plus ou moins complète par de l'acide carbonique. C'est ce fait que j'ai constaté pour le lait, le jus de raisin, le moût de bière, l'eau de levure, l'eau de farine, le jaune d'œuf, le blanc d'œuf et le sang.

2° Cette absorption de l'oxygène par les substances hémiorganisées se fait souvent avec une grand rapidité. J'ai constaté que, pour le lait sortant du pis de la vache, pour le jaune d'œuf et pour le sang, l'absorption de l'oxygène était complète au bout de quelques heures.

La rapidité de cette absorption d'oxygène dépend de la nature du corps hémiorganisé et de la température à laquelle le liquide est exposé.

3° *L'absorption rapide de l'oxygène et sa transformation en acide carbonique, dans les expériences que je viens de citer, me paraissent démontrer que les substances hémiorganisées qui se trouvent dans certains liquides organiques peuvent être considérées comme étant réellement vivantes : leur action sur l'air rappelle en effet celle des organes vivants.*

4° L'action de la chaleur sur certains liquides organiques semble établir également la vitalité des corps hémiorganisés : il résulte, en effet, des observations que j'ai faites sur le lait, le moût de bière et le jus de raisin, que ces liquides, chauffés pendant un temps suffisant à la température de 100°, n'agissent plus d'une manière sensible sur l'oxygène atmosphérique. Les substances hémiorganisées qu'ils contenaient sont donc tuées par la chaleur.

5° Les analyses consignées dans le tableau précédent prouvent que des ballons dont le col effilé est resté ouvert pendant près d'une année contiennent, dans leur intérieur, un gaz bien différent de l'air atmosphérique, et qui est formé presque exclusivement d'azote et d'acide carbonique.

Ainsi, dans l'appareil à col effilé, recourbé en col de cygne et ouvert, l'air se modifie, quant à sa composition chimique, sous l'influence des liquides organiques qui s'y trouvent; par conséquent, ces liquides, abandonnés dans des appareils de cette nature, ne sont pas dans des conditions normales ; les phénomènes qui s'y produisent ne peuvent donc pas être comparés à ceux qui se réaliseraient dans de l'air atmosphérique ordinaire.

6° Lorsqu'on reconnaît que des liquides comme le lait, le moût d'orge ou le jus de raisin, sont *tués* par l'ébullition et n'exercent plus d'action sur l'oxygène, on est en droit de soutenir que toutes les observations faites dans les ballons et sur des liquides organiques soumis à l'ébullition seraient bien différentes si elles eussent porté sur un liquide organique vivant.

7° Un fait fort important résulte encore des expériences précédentes : on voit, en effet, que si des liquides tels que les sucs de fruits sont tués complètement après une ébullition de quelques instants, il en est d'autres, tels que le lait et l'eau de levure, qui conservent encore une certaine vitalité, même après une ébullition prolongée pendant quelques instants.

Dans la suite de ce travail, je m'appuierai sur cette observation pour expliquer certaines particularités que présente la fermentation du lait et pour établir la théorie véritable des conserves d'Appert.

8° Lorsqu'on montre des liquides organiques qui se conservent dans des appareils fermés ou dans des ballons à col effilé et ouvert, et qu'on attribue leur conservation à l'absence des germes de l'air, on peut dire que cette conservation est due, soit à l'ébullition qui a tué la substance hémiorganisée vivante contenue dans le liquide, soit à la décomposition qu'éprouve l'air dans son contact avec les corps organiques; dans ce dernier cas, c'est l'acide carbonique produit aux dépens de l'oxygène atmosphérique qui s'oppose à l'altération du liquide, lors même qu'il n'a pas été porté à l'ébullition.

Conservation des liquides organiques qui n'ont pas été soumis à l'ébullition.

J'ai introduit dans des ballons dont le col était ensuite fermé à la lampe, et qui contenaient par conséquent de l'air ordinaire, des liquides organiques tels que du sang sortant des veines d'un chien, de l'urine au moment de son émission et différents sucs de fruits.

Ces liquides, avant d'être placés dans les ballons, ont été exposés à l'air; les sucs de fruits ont même été filtrés lentement et soumis pendant plusieurs heures à l'influence des poussières atmosphériques.

Dans de nombreuses observations, j'ai constaté que ces liquides se conservent souvent sans altération : il y a deux jours, j'ouvrais, devant plusieurs chimistes attachés à mon laboratoire, des ballons contenant du sang et de l'urine abandonnés depuis un an dans de l'air ordinaire; ces liquides ne paraissaient pas altérés; ils n'avaient pas d'odeur désagréable et n'avaient pas dégagé de gaz.

J'attribue ces résultats à l'action chimique des liquides qui absorbent rapidement l'oxygène et qui produisent une atmosphère d'azote et d'acide carbonique dans laquelle les organismes ne peuvent pas se développer.

Pour conserver des liquides organiques, il ne suffit pas de se mettre à l'abri des poussières atmosphériques, qui n'interviennent qu'accidentellement dans le phénomène; il faut modifier la composition de l'air atmosphérique.

Des observations journalières confirment du reste celles que j'ai faites dans mon laboratoire.

Ne sait-on pas, en effet, que du cidre sucré qui a été exposé à l'air pendant longtemps, et qui présente par conséquent toutes les particules que l'air peut contenir ou qui se trouvent à la surface des pommes, se conserve souvent pendant des années avec sa saveur sucrée, lorsqu'il est introduit dans des bouteilles bien fermées et placé dans des conditions qui suspendent la vie du liquide.

Ainsi, le principe de la conservation des liquides organiques ne repose pas

exclusivement sur la destruction des germes atmosphériques ; *il est plutôt basé sur la destruction de la vitalité des liquides organiques.*

On fait mourir les liquides organiques par les procédés les plus divers, en employant la chaleur, la pression, l'alcool, un certain nombre d'agents chimiques, ou bien en plaçant les liquides altérables dans des atmosphères d'azote ou d'acide carbonique qui rendent leur vie impossible.

Les principes fondamentaux de la conservation des liquides organiques vivants, que je viens d'établir, ne doivent cependant pas faire oublier l'influence accidentelle des poussières atmosphériques.

Il est évident que si l'air contient des spores de mycodermes et des œufs d'infusoires, on a intérêt à détruire ces organismes dans l'air qui se trouve en rapport avec les liquides que l'on veut conserver : ces faits ne sont contestés par personne, et Redi les établissait déjà lorsqu'il démontrait que, pour préserver la chair de la putréfaction, il suffit souvent de l'entourer d'une gaze fine qui retient les larves d'œufs de mouches.

Mais cette influence des poussières de l'air n'est que secondaire, tandis que les liquides qui sortent de l'organisation sont *toujours* vivants, ils possèdent *toujours* une force végétative suffisante pour créer des organismes. Pour obtenir une conservation certaine, il est donc de toute nécessité de tuer ces principes vivants, ou de suspendre leur activité vitale, comme cela arrive dans une graine dont on arrête, par la dessiccation, la force germinative.

Ces considérations me conduisent naturellement à traiter de la théorie des conserves d'Appert.

Théorie des conserves d'Appert.

Pour moi, la conservation des aliments par la méthode d'Appert repose sur trois conditions essentielles :

1° La destruction par la chaleur de la force végétative des substances hémi-organisées qui existent dans les aliments que l'on veut conserver ;

2° L'absorption souvent complète de l'oxygène contenu dans les appareils, par les substances organiques, et la substitution de l'acide carbonique à l'oxygène ;

3° L'absence des spores de mycodermes ou des œufs d'infusoires que l'air peut apporter accidentellement ou qui se trouvent à la surface des corps organiques.

Pour établir ces principes, j'ai à m'appuyer sur les observations de la pratique et sur des expériences qui me sont propres.

En déterminant la composition du gaz qui se trouvait dans des conserves préparées avec soin et d'une qualité incontestable, j'ai obtenu les résultats suivants :

COMPOSITION DE L'AIR DES CONSERVES ALIMENTAIRES

DÉSIGNATION DES CONSERVES	OXYGÈNE	ACIDE carbonique.	AZOTE
Petits pois (boîte soudée).	1,65	1,65	96,70
Haricots verts (boîte soudée)	1,57	0,78	97,65
Asperges (boîte soudée)	1,36	1,36	97,28
Champignons (boîte soudée)	»	4,44	95,56
Truffes en bon état (bouteille avec bouchon de liège).	2,12	2,12	95,76
Truffes (bouteille avec bouchon de liège).	0,44	6,30	93,26
Homard (boîte soudée).	2,50	traces	97,50
Viande de bœuf (boîte soudée).	1,57	»	98,43
Petits pois (boîte soudée).	1,47	0,49	98,04

Ces analyses démontrent, comme Gay-Lussac l'avait établi, que dans les bonnes conserves les matières alimentaires sont privées presque complètement d'oxygène, et que la conservation a lieu dans un mélange d'acide carbonique et d'azote.

Tous les industriels qui se livrent à la conservation des substances alimentaires savent qu'une des principales conditions à remplir pour obtenir de bonnes conserves est de laisser le moins d'air possible dans les appareils.

En général, toutes les boîtes qui contiennent une quantité notable d'air, au moment de leur fermeture, sont perdues.

Ainsi l'oxygène joue un grand rôle dans les conserves d'Appert ; si on le laisse en présence des substances organiques, même chauffées à 100°, il peut, au bout d'un certain temps, se produire des ferments, comme je le démontrerai dans mes observations sur le lait.

En effet, il existe des corps hémiorganisés dont la force végétative n'est que paralysée par l'ébullition et qui reprennent ensuite de la vitalité.

Il est enfin une condition importante à remplir dans la préparation des conserves ; je veux parler du temps de la coction.

Si l'altération des substances organiques n'était produite que par les germes venant de l'extérieur, une ébullition qui tue tous les germes végétaux devrait suffire pour rendre inaltérables les conserves de légumes et de fruits.

Il n'en est rien : tous ceux qui connaissent les détails de cette opération savent qu'une ébullition de quelques instants ne suffit pas toujours pour rendre ces préparations inaltérables; il faut, suivant les substances que l'on veut conserver, prolonger l'ébullition, et souvent même soumettre la matière organique à une température qui dépasse 100°.

Production des ferments dans les différents milieux.

Les expériences que je vais décrire ont eu pour but de déterminer le mode de génération des ferments dans différents liquides fermentescibles, tels que l'eau d'orge sucrée, l'eau de levure sucrée, le lait, le moût de raisin et les sucs de fruits.

Il est résulté de mes observations que tous ces liquides engendrent directement, et en dehors des germes atmosphériques, les ferments qui leur conviennent.

J'exposerai d'abord les faits qui se rapportent aux infusions sucrées d'orge et de levure de bière.

Expériences sur l'orge et sur la levure de bière.

En soumettant au lavage à l'eau froide l'orge germée qui avait été exposée longtemps à l'air, j'ai obtenu une eau trouble qui a été additionnée de sucre et mêlée à du bouillon de levure.

Dans un autre essai, l'eau trouble provenant du lavage des grains d'orge a été additionnée de sucre, de tartrate d'ammoniaque et de phosphates; M. Pasteur a démontré que ce mélange est essentiellement propre au développement des germes de ferment alcoolique.

Ces deux liquides, exposés à une température favorable à la production du ferment alcoolique, ne sont pas entrés en fermentation.

Seulement, au bout d'un temps assez long, ils ont produit des moisissures dues aux spores des mycodermes qui se trouvaient à l'extérieur des grains d'orge.

Il résulte donc de cette première observation que l'orge ne contient pas à sa surface de germes de ferment alcoolique.

L'orge, lavée à plusieurs reprises avec de l'eau distillée et entièrement débarrassée des poussières qui la recouvrent, a été placée dans de l'eau sucrée et maintenue à une température de 25°.

Les grains d'orge éprouvent, dans ce cas, les modifications suivantes : ils ne tardent pas à se gonfler dans l'eau sucrée ; on voit sortir de l'intérieur des grains un gaz qui est un mélange d'hydrogène et d'acide carbonique; la liqueur se trouble, elle devient fortement acide et présente tous les caractères des fermentations alcoolique, butyrique et lactique.

Le fait capital qui résulte de cette observation, c'est qu'en suivant le phénomène avec attention, *on voit sortir le gaz de l'intérieur même des grains d'orge.* Ce dégagement de gaz rend la liqueur laiteuse; en l'examinant au microscope, on constate dans le liquide une quantité considérable de ferment lactique qui s'est formé dans l'intérieur des grains d'orge, et qui en a été, en quelque sorte, extrait par les bulles de gaz que les grains dégagent.

Je tiens à rappeler ici que j'ai communiqué cette observation à l'Académie des sciences dans le mois de janvier de 1872, et qu'elle a été le premier exemple

de ce genre de fermentation que j'ai désignée plus tard sous le nom de *fermentation intracellulaire*, parce qu'elle se produit dans l'intérieur des organes et, par conséquent, en dehors de toute influence de germes atmosphériques.

Les exemples de fermentations intracellulaires sont aujourd'hui très nombreux ; on les constate dans les cellules des fruits, dans les abcès profonds, dans la fermentation ammoniacale de l'urine qui se manifeste spontanément dans la vessie, etc.

Ces sortes de fermentations, produites évidemment à l'abri des poussières atmosphériques, s'expliquent bien facilement avec les idées que j'ai émises.

En effet, prenant comme exemple la fermentation intracellulaire du grain d'orge, je rappellerai que le tissu qui constitue le périsperme du grain d'orge contient de petits globules organisés assez ténus pour passer à travers nos filtres et qui ont à peine $\frac{1}{800}$ de millimètre, d'après Turpin.

Ces globules sont formés par une substance hémiorganisée vivante qui, au contact de l'air et de l'eau sucrée, se développe et donne naissance alors aux ferments qui déterminent l'altération des grains d'orge.

J'ai retrouvé ces globules, qui constituent en quelque sorte des ferments rudimentaires, dans les cellules épidermiques des fruits.

On peut, dans l'expérience que je viens de décrire, remplacer plusieurs fois le liquide acide que produit la fermentation de l'orge par une nouvelle quantité d'eau sucrée et obtenir ainsi, à l'état soluble, presque tous les principes qui existent dans l'orge.

L'amidon se change alors en dextrine, en sucre, et ensuite en acide lactique. Le gluten et les sels minéraux du grain entrent dans la constitution des ferments, et les grains finissent par se vider complètement.

Dans la théorie de l'hémiorganisme, tous ces faits se comprennent : lorsqu'on place les grains d'orge dans de l'eau sucrée, leur vie aérienne n'est pas possible ; c'est alors que commence, sous l'influence de la force végétative des grains, ce travail de décomposition qui a pour effet de produire les ferments.

Les expériences que je vais décrire se rapportent encore à la génération des ferments alcooliques au moyen de l'orge.

L'eau d'orge sucrée, préparée à froid et éclaircie par la filtration, a été partagée en deux parties égales : l'une seulement a été portée à l'ébullition ; l'autre a été conservée à la température ordinaire ; ces deux liquides sont ensuite placés sous une cloche de verre.

Au bout de peu de temps, l'eau d'orge qui n'a pas été soumise à l'ébullition entre en fermentation et produit des quantités considérables de ferment ; tandis que le liquide qui a été chauffé reste limpide et ne forme pas d'organismes.

Cette observation bien simple me paraît démontrer clairement que la génération des ferments est due uniquement au liquide organique dans lequel se trouve une substance hémiorganisée vivante, qui, au contact de l'air, peut produire des ferments tant qu'elle n'est pas tuée par la chaleur.

En effet, si les ferments étaient engendrés par les germes de l'air, l'ébullition, qui n'enlève rien au liquide, lui laisserait la faculté de nourrir les germes

atmosphériques ; ce qui cependant n'a pas lieu, puisque la liqueur exposée à l'air n'entre plus en fermentation lorsqu'on l'a fait bouillir.

Pour établir une différence entre la génération des moisissures et celle des ferments, et démontrer que si les poussières atmosphériques engendrent des moisissures elles ne peuvent pas produire le ferment alcoolique, j'ai étudié la fermentation de l'eau d'orge sucrée dans des vases de formes différentes présentant des obstacles destinés à arrêter les poussières.

J'ai versé de l'eau d'orge sucrée dans un vase de verre contenant quatre supports en verre placés les uns au-dessous des autres, et j'ai exposé l'appareil à une température favorable à la fermentation.

La génération des ferments s'est produite de la même façon dans toutes les parties du liquide ; chaque plateau en verre s'est recouvert d'une grande quantité de ferments qui était à peu près la même : seulement, au bout d'un certain temps, des moisissures se sont développées à la surface du liquide.

J'ai répété la même expérience dans un appareil différent du précédent.

L'eau d'orge sucrée a été introduite dans un large tube de verre, présentant un grand nombre de courbures, dont les deux extrémités étaient ouvertes et par conséquent exposées au contact de l'air : le tube recourbé était entièrement rempli par le liquide.

Là encore, les parties du liquide soumises à l'influence de l'air se sont recouvertes de moisissures, tandis que des quantités à peu près égales de ferment se sont déposées dans chaque sinuosité du tube.

Il m'est facile de tirer de ces observations quelques conséquences en faveur de la thèse que je soutiens.

On voit d'abord que des ferments et des moisissures peuvent s'engendrer simultanément dans un même liquide.

En employant les appareils que j'ai décrits, on constate en outre que les moisissures se forment seulement dans les parties du liquide qui sont en contact avec l'air, tandis que les ferments s'engendrent également dans toutes les parties de la liqueur.

N'est-il pas évident que si les ferments dérivaient, comme les moisissures, des germes apportés par l'air, on devrait constater principalement leur formation à la surface du liquide, comme cela arrive pour les mycodermes ? c'est ce qui n'a pas lieu.

Je trouve donc dans ces expériences une nouvelle démonstration de la génération des ferments par les liquides organiques.

Les observations que j'ai faites sur l'eau de levure sucrée viennent confirmer complètement celles que j'ai décrites sur la fermentation de l'orge.

Elles prouvent que la levure de bière peut, comme un grand nombre d'organismes vivants, engendrer des ferments en dehors de l'influence des germes atmosphériques.

On sait que l'eau de levure sucrée, préparée à froid, entre rapidement en fermentation par le contact de l'air et qu'elle produit un abondant dépôt de levure de bière.

Si cette liqueur est portée à l'ébullition et soumise ensuite à l'influence de l'air, elle a perdu le pouvoir d'engendrer des ferments ; elle se recouvre seule-

ment, au bout de quelque temps, de moisissures produites par les spores atmosphériques des mycodermes.

Ce phénomène se comprend facilement dans la théorie de l'hémiorganisme. La levure contient en effet dans son intérieur de petits globulins vivants qu'elle a créés, et qui, placés dans de l'eau sucrée et au contact de l'air, se développent en produisant de la levure de bière.

Selon moi la levure ne peut pas provenir de germes extérieurs.

Je soutiens que ces germes ne sont pas fixés à l'extérieur du grain de levure; nous venons de voir en effet que l'eau de levure filtrée donne naissance à de la levure de bière : le germe, si l'on admet son existence, est donc assez ténu pour passer à travers nos filtres.

S'il en est ainsi, de la levure de bière mise en suspension dans l'eau et agitée, sans être écrasée, devrait donner une liqueur qui, sous l'influence du sucre, des sels ammoniacaux et des phosphates, produirait de la levure de bière.

L'expérience prouve que l'eau de lavage de la levure, préparée dans les conditions que je viens d'indiquer, ne donne pas de levure.

On ne peut donc pas admettre l'existence des germes de levure à l'extérieur des grains.

Les germes de levure de bière sont-ils apportés par l'air atmosphérique? Cette hypothèse ne peut pas être admise plus que la première.

En effet, qu'est-ce que le germe de la levure de bière? qui l'a jamais vu? qui a jamais pu le recueillir.

Nous avons dit précédemment que dans les poussières de l'air et que dans du coton ayant servi à filtrer de grandes quantités d'air, on ne trouvait jamais de germes de ferment alcoolique.

En outre, si la levure de bière était produite par des germes atmosphériques, pourquoi l'eau de levure sucrée, qui convient si bien au développement de la levure, perdrait-elle, sous la seule influence de l'ébullition, la propriété d'engendrer de la levure, par l'action de l'air?

Tous ces raisonnements prouvent que la levure de bière ne provient ni de l'air, ni de l'extérieur des grains de levure: elle ne peut venir que de l'intérieur même de ces organismes qui la créent d'abord à l'état rudimentaire et avec une ténuité qui lui permet de passer à travers nos filtres.

La fermentation des eaux d'orge et de levure sucrées démontre donc que la levure de bière est créée par l'organisation même et qu'elle ne dérive par de germes atmosphériques.

Je viens d'établir qu'une cellule libre, comme la levure de bière, contient dans son intérieur des corpuscules vivants qui, au contact de l'air, produisent la levure.

D'un autre côté, Cagniard-Latour a prouvé que lorsqu'on introduit de la levure de bière dans de l'eau sucrée, cette levure engendre extérieurement, par bourgeonnement, de la levure de bière.

En présence de ces observations, qui établissent si clairement le mode de génération des ferments par les organismes mêmes, je ne comprends donc pas qu'on refuse aux corps organisés vivants la possibilité de créer des ferments, lorsqu'on les place dans des conditions où la vie aérienne devient impossible.

J'ai institué depuis longtemps un grand nombre d'expériences sur la levure de bière, dont le but principal est de rechercher si un ferment aussi bien défini que la levure peut engendrer d'autres ferments, lorsqu'on fait varier les conditions qui l'altèrent.

Cette partie de mes recherches n'est pas encore complète : je veux dire néanmoins que mes observations confirment pleinement celles de M. Trécul.

J'ai vu souvent la levure de bière, en s'altérant, produire des ferments nouveaux, qui agissent alors sur les corps fermentescibles et opèrent des transformations que la levure fraîche n'avait pas pu réaliser.

Mes observations sur l'orge et la levure de bière, que je viens de résumer, me paraissent donc confirmer le principe de l'hémiorganisme, que j'oppose à celui de la panspermie atmosphérique.

Fermentation du lait.

J'ai trouvé dans mes études sur la fermentation du lait une confirmation nouvelle des idées que je soutiens sur la génération des ferments.

On sait que le lait sortant du pis de la vache et tombant dans un vase que l'on maintient à une température de 25° peut éprouver au moins cinq fermentations différentes, qui sont les fermentations alcoolique, lactique, butyrique, acétique, caséique.

Faut-il admettre que le lait trouve dans l'air du vase où ce liquide vient tomber les cinq germes différents qui peuvent opérer ces modifications.

L'expérience démontre que le même lait se modifie différemment, suivant les influences auxquelles on l'expose : il peut produire tantôt la fermentation alcoolique, tantôt la fermentation lactique, tantôt la fermentation butyrique.

Cette génération de ferments, dont la nature varie sous l'influence *des circonstances extérieures*, me paraît bien difficile à expliquer avec les idées qui font dériver les ferments de l'extérieur.

Tandis que pour rendre compte, dans la théorie de l'hémiorganisme, de la production des différents ferments du lait, il suffit d'admettre, dans le liquide, l'existence *d'un corps hémiorganisé vivant*, qui se modifie au contact de l'air atmosphérique, comme tous les organismes vivants, et qui peut *engendrer* alors plusieurs espèces de ferments.

Les produits de la fermentation du lait dépendront donc *de la vie du caséum* et de ses modifications, sous l'influence des circonstances extérieures auxquelles le lait aura été soumis.

Le ferment qui s'engendre dans une liqueur alcaline n'étant pas le même que celui qui se forme dans un liquide acide, les produits d'altération du lait varieront avec la réaction du liquide.

La théorie de l'hémiorganisme n'explique pas seulement la production des nombreux ferments que le lait peut engendrer, elle rend compte également des méthodes qui le conservent.

Elle apprend, en effet, que les réactions qui tuent le caséum du lait ou qui

s'opposent à son développement organique devront opérer la conservation du lait ; c'est ce que l'observation confirme.

Seulement, il faut se rappeler qu'il existe une différence importante entre l'albumine et le caséum :

L'albumine, en dissolution dans l'eau, est coagulée et tuée au-dessous de 100°, tandis que le caséum n'est pas coagulé par l'ébullition.

Par conséquent, le lait peut conserver sa force génératrice, lors même qu'on l'a chauffé à 100° ; tandis que dans de pareilles conditions tous les organismes albumineux sont tués.

Ainsi, les nombreuses fermentations du lait s'interprètent très facilement dans la théorie de l'hémiorganisme basée sur la vie du caséum et dont les évolutions organiques varient avec les circonstances dans lesquelles on les place.

Les expériences que je vais décrire me paraissent de nature à confirmer les principes que je viens de poser.

Cinq ballons de verre à col effilé ont été nettoyés avec le plus grand soin ; j'ai introduit dans leur intérieur une petite quantité d'eau qui a été portée à l'ébullition ; j'ai fermé ensuite à la lampe le col effilé des ballons ; j'avais donc ainsi à ma disposition des ballons de verre ne contenant plus intérieurement de germes atmosphériques.

Ces ballons ont été transportés dans une étable ; j'ai entouré la pointe des ballons d'une grande quantité de coton destiné à arrêter les poussières de l'air qui pouvaient rentrer dans les ballons au moment de leur ouverture ; j'ai ensuite brisé la pointe des ballons qui se sont remplis d'air privé de germes. J'ai introduit dans ces ballons le lait sortant du pis de la vache ; les ballons ont été ensuite fermés avec soin, puis conservés dans mon laboratoire à la température de 20° environ.

Au bout de quelques jours, la fermentation s'est produite dans tous ces ballons ; le caséum s'est d'abord coagulé ; le liquide est devenu ensuite fortement acide ; il contenait de l'acide lactique et de l'acide butyrique. Sur les cinq ballons préparés, trois ont fait explosion à la suite de la quantité considérable de gaz que le lait avait dégagé.

Quelle conséquence faut-il tirer de cette expérience ?

Dans la théorie de l'hémiorganisme, le phénomène se comprend facilement : c'est le développement organique du caséum qui produit des ferments différents ; ceux-ci réagissent alors sur le sucre de lait et deviennent la cause des altérations que je viens de signaler.

J'ai introduit dans trois flacons des quantités égales du même lait : le premier contenait du lait pur ; le second du lait sucré ; le troisième du lait sucré avec addition de carbonate de chaux.

Pour éviter l'influence des organismes qui se trouvent dans la craie, le carbonate de chaux employé dans mes expériences a toujours été préparé artificiellement par précipitation.

Les trois flacons contenant le lait ont été exposés à une température de 30°.

Le premier a éprouvé la fermentation lactique, le second les fermentations

lactique et alcoolique, le troisième les fermentations lactique, alcoolique et butyrique.

Ces différentes fermentations d'un même liquide, qu'on peut faire varier presque à volonté, en modifiant la constitution de la liqueur, me paraissent démontrer que c'est le liquide lui-même qui produit les ferments, qu'il ne les emprunte pas à l'atmosphère et que les conditions extérieures exercent une grande influence sur la nature des ferments qu'un milieu organique peut produire.

Du lait sucré a été introduit dans un ballon à col effilé, recourbé et ouvert, puis soumis pendant quelques instants à l'ébullition.

J'ai laissé refroidir ce liquide dans un appareil qui ne pouvait pas donner accès aux poussières de l'air, et je l'ai exposé ensuite à une température de 25° environ.

Le lait est entré en fermentation ; il a donné de l'acide lactique, de l'acide butyrique, de l'alcool, en dégageant, soit de l'acide carbonique, soit de l'hydrogène.

J'ai varié cette expérience à l'infini en opérant sur du lait pur ou sur du lait mélangé à du carbonate de chaux, sur du lait sortant du pis de la vache ou sur du lait exposé à l'air pendant des temps différents avant son ébullition.

Dans tous ces essais, j'ai toujours constaté l'altération et la fermentation du lait.

Ces faits me paraissent complètement en faveur de la théorie de l'hémiorganisme.

Je sais que des organes albumineux supportent une *température sèche* de 100° sans se décomposer : j'ai constaté moi-même que l'albumine séchée dans le vide conserve sa solubilité lors même qu'on la chauffe à 130° : mais l'albumine est coagulée et tuée bien au-dessous de 100°, lorsqu'elle est en dissolution dans l'eau.

Je n'admets donc pas qu'un organisme albumineux puisse rester vivant dans de l'eau bouillante.

Si le caséum du lait, qui n'est pas un organisme albumineux, n'a pas été tué par une ébullition de quelques instants, c'est que ce corps n'est pas coagulé, comme l'albumine, lorsqu'on expose sa dissolution à 100°.

Je viens de citer des expériences qui démontrent que le lait conserve encore sa force génératrice lorsqu'il a été porté à l'ébullition, mais qu'il ne résiste pas à l'influence d'une température plus élevée et même à l'action prolongée d'une température qui est au-dessous de 100°.

C'est sur ce principe qu'est fondée la conservation du lait par la méthode d'Appert.

Dans de nombreuses observations, j'ai constaté qu'on peut conserver du lait en le chauffant à 130°, à 120°, à 110°, et même au-dessous de 100°, à la condition de prolonger la coction pendant un certain temps.

J'ai reconnu également que l'air laissé dans les appareils exerce une grande influence sur la conservation du lait : l'altération est beaucoup plus rapide dans les ballons qui contiennent de l'air que dans ceux qui en ont été complètement

purgés ; le fait que j'ai constaté dans les conserves d'Appert se présente également pour le lait.

Mes études sur la fermentation du lait me paraissent donc confirmer entièrement les idées que j'ai émises sur la génération des ferments.

Fermentation du jus de raisin.

Cette fermentation, en raison de son importance, est une de celles que je devais étudier avec le plus de soin. J'ai donc institué sur la fermentation du jus de raisin et sur les altérations du vin un grand nombre d'expériences dont je ferai connaître les principaux résultats.

Je rappellerai d'abord, à l'occasion de la fermentation du jus de raisin, le principe que j'ai déjà énoncé, en parlant de la fermentation des autres liquides sucrés.

La fermentation du jus de raisin se comprend très facilement, si l'on admet la vitalité de ce liquide et si on lui accorde le pouvoir de créer directement des ferments différents, sous l'influence de l'oxygène atmosphérique.

Cette fermentation devient inexplicable si l'on veut en chercher la cause dans les prétendus germes de ferments qui existeraient dans l'air atmosphérique.

Selon moi, c'est le raisin lui-même qui produit sa levure, et il ne l'emprunte jamais à l'atmosphère.

Dans cette théorie, le ferment alcoolique du raisin a deux origines : il peut provenir soit de la pulpe, soit du suc de fruit.

Lorsqu'on détache du grain de raisin la pellicule qui le recouvre, on trouve dans les cellules épidermiques du fruit une quantité innombrable de petits granules organisés qui, au contact de l'air, se transforment en ferment alcoolique du raisin.

Le suc du fruit peut également produire du ferment, à la manière du moût d'orge et de l'eau de levure sucrée.

Ce suc filtré ne présente il est vrai aucun corpuscule organisé, mais il contient une substance plasmatique vivante, qui en s'organisant au contact de l'air peut engendrer le ferment alcoolique.

Ainsi, dans la cuve de vendange, le ferment alcoolique est créé non seulement par les cellules du fruit, mais aussi par la substance hémiorganisée vivante que le suc contient.

Il en est de même pour le vin une fois produit : *j'admets en effet que le vin, semblable au jus de raisin, engendre lui-même les ferments qui le modifient et qu'il ne les emprunte pas à l'atmosphère.* Ce liquide est encore vivant et jouit d'une force génératrice énergique. La substance hémiorganisée qui s'y trouve peut, soit dans le tonneau, soit dans les bouteilles, engendrer des organismes et produire tous ces ferments qui deviennent la cause de la maladie des vins.

La nature de ces ferments dépend de la composition du vin et des circonstances dans lesquelles le liquide a été placé.

Peut-on admettre que *l'air atmosphérique contient, à l'état de germes, tous les ferments qui peuvent altérer les vins ?*

L'énoncé d'une pareille proposition soulève de bien graves objections.

Si l'air apportait les germes de ferments qui doivent altérer les vins, ces liquides étant produits à l'air et se trouvant enfermés dans des vases qui contiennent de l'air devraient toujours s'altérer ; on sait qu'heureusement il n'en est rien.

Le vin ne contient donc en aucune façon les germes de ferments de maladie : mais on y trouve une certaine quantité de cette matière hémiorganisée vivante qui était si abondante dans le suc de raisin, et qui au contact de l'air peut engendrer des ferments divers.

L'art de la production et de la conservation du vin ne consiste pas à détruire des germes de ferments atmosphériques, *mais à diriger, au profit du vin, cette vie du liquide organique qui donne à la liqueur son arome et sa qualité.*

Ce mouvement vital du vin se produit différemment dans le tonneau et dans la bouteille : le tonneau est un appareil poreux qui, semblable aux cellules organiques, permet à l'oxygène d'intervenir en quelque sorte par endosmose ; la bouteille est un appareil imperméable dans lequel le vin n'agit que sur ses propres éléments.

On voit que dans la production du vin et dans le développement de ses maladies, je ne fais jouer aucun rôle aux poussières atmosphériques ; c'est dans la vie même du liquide organique que je trouve les causes de sa fermentation et des transformations qu'il peut éprouver.

J'arrive aux expériences que j'ai entreprises sur le raisin.

Dans mes études sur la fermentation du raisin, mon premier soin a été d'examiner séparément les différents éléments qui constituent le fruit ; il importait, en effet, de rechercher si le ferment se trouvait dans le suc ou dans la partie utriculaire du fruit et d'examiner sous quelles influences les ferments peuvent se former.

Pour résoudre ces questions, j'ai soumis les grains de raisin aux préparations suivantes :

1° J'ai enlevé d'abord la pulpe du raisin, que j'ai lavée avec le plus grand soin ;

2° Les membranes intérieures du grain ont été extraites et débarrassées de tout liquide organique ;

3° La pulpe, pressée sur un linge fin, a produit un suc trouble ;

4° Ce sucre trouble, soumis à la filtration, a donné un précipité et une liqueur claire.

J'ai donc séparé du fruit quatre parties différentes, qui sont la pulpe extérieure, les membranes intérieures, le suc clair, et un corps qui, au moment de la compression du fruit, est en suspension dans le suc et le rend trouble.

J'ai examiné successivement ces quatre parties du fruit.

La pellicule extérieure du fruit et les membranes intérieures, ayant été privées par le lavage de tout liquide fermentescible, ont été mises au contact de l'eau sucrée, à une température de 30°.

Il m'a été facile de reconnaître que ces deux sortes de membranes agissaient

sur le sucre, mais avec une grande lenteur; elles produisent de l'alcool et dégagent un mélange d'acide carbonique et d'hydrogène : la pellicule extérieure du raisin agit avec plus de rapidité sur le sucre, lorsqu'on ne lui enlève pas, par le grattage, les cellules épidermiques qu'elle retient, et dans lesquelles se trouvent les petits organismes plasmatiques qui sont destinés à produire le ferment alcoolique.

Je crois que, par elles-mêmes, ces membranes extérieures bien purifiées ne devraient pas agir sur le sucre; si j'ai constaté une action fermentescible, c'est que la pellicule extérieure contenait encore quelques cellules épidermiques.

Ce n'est donc pas dans l'action des membranes intérieures ou extérieures des grains de raisin qu'il faut chercher l'origine du ferment alcoolique.

Il n'en est pas de même pour le suc trouble que l'on obtent en filtrant grossièrement sur un linge fin le raisin écrasé.

De tous les éléments du grain de raisin, le suc trouble est celui qui fermente avec le plus de rapidité; mais ici se présentent plusieurs questions intéressantes à résoudre : quelle est la partie de ce suc qui produit la fermentation? le ferment est-il engendré par le liquide, ou existe-t-il déjà dans le corps qui trouble la liqueur?

Examinant au microscope la substance insoluble du suc de raisin, en faisant abstraction des tartrates insolubles et cristallisés qui s'y trouvent, j'ai vu qu'elle est formée principalement par un corps azoté présentant une trame d'organisation incomplète; elle contient en outre une quantité considérable de petits corpuscules organisés provenant évidemment des cellules adhérentes à la pellicule du grain. Ce précipité introduit dans de l'eau sucrée a déterminé rapidement sa fermentation. C'est évidemment là le corps qui produit la fermentation des cuves de vendange: les germes de l'air n'ont exercé aucune influence sur sa formation et son organisation, puisqu'on peut l'observer immédiatement dès que le suc trouble sort du grain.

En étudiant l'action de l'air atmosphérique sur le suc du raisin, j'ai constaté que l'air agit rapidement sur le liquide : l'oxygène est absorbé, la matière azotée se précipite, elle s'ajoute au corps insoluble qui préexistait dans le suc et se réunit bientôt sous la forme d'un coagulum abondant.

Quand le suc s'est éclairci par l'exposition à l'air et par des filtrations successives, on reconnaît qu'il perd ses facultés fermentescibles à mesure qu'il devient plus limpide, et qu'un suc absolument clair peut être conservé pendant un mois sans éprouver de fermentation; tandis que le même suc fermente au bout de douze heures lorsqu'il est trouble ou qu'il peut se troubler à l'air.

Ainsi le principal agent de fermentation du suc de raisin est le corps insoluble qui se trouve en suspension dans la liqueur trouble, ou celui qui se forme lorsque le suc est exposé à l'air.

Je ne veux pas dire cependant que du moût de raisin éclairci à l'air n'entrera plus en fermentation : j'affirme seulement qu'il existe une différence bien marquée entre les facultés fermentescibles d'un jus de raisin trouble sortant du grain écrasé et celles d'un suc qui a été éclairci à l'air.

Je trouve déjà, dans ces premières observations sur le raisin, la confirmation de ma théorie.

Les faits suivants, que je vais analyser, conduisent aux mêmes conclusions.

J'ai ouvert les cellules épidermiques qui adhèrent à la pellicule extérieure du grain de raisin, j'en ai extrait les granulations plasmatiques qui s'y trouvaient et je les ai mises en suspension dans du jus de raisin qui avait été complètement paralysé par l'ébullition.

Cette liqueur, abandonnée à l'étuve pendant quelque temps, est entrée en fermentation et a produit du ferment alcoolique.

Ainsi, du suc de raisin bouilli ne fermente pas; mais lorsqu'on le met en présence de la substance hémiorganisée qui existe dans le raisin, il entre en fermentation : cette expérience ne démontre-t-elle pas, avec une certaine rigueur, la génération du ferment alcoolique par l'organisation elle-même en dehors de l'influence des germes atmosphériques ?

J'ajouterai ici qu'en lavant avec soin des grains de raisin, en recueillant les poussières qui les recouvrent et les introduisant dans le suc du raisin bouilli, je n'ai jamais constaté le phénomène de fermentation que produisent si facilement les organismes extraits de l'intérieur du grain.

Après avoir étudié les propriétés fermentescibles des différentes parties du raisin, j'ai dû rechercher si le suc du raisin extrait de l'intérieur d'un grain de raisin et conservé à l'abri des poussières de l'air entrerait en fermentation.

Dans ce but, j'ai disposé un appareil qui me permettait d'étudier cette question.

Il se composait principalement d'un petit tube de verre effilé, dans lequel j'introduisais quelques gouttes d'eau; en portant cette eau à l'ébullition, je chassais l'air et je tuais en même temps les germes qui pouvaient exister dans l'intérieur du tube; l'air étant expulsé, je fermais à la lampe la partie effilée du tube, lorsque l'appareil était encore rempli de vapeur : un pareil tube ainsi privé d'air devenait propre à aspirer le suc du fruit. Comme la pointe du tube devait être cassée dans l'intérieur du grain de raisin, j'avais pratiqué d'avance un léger trait de lime sur la partie effilé du tube, pour faciliter l'opération.

En enfonçant ensuite la pointe du tube dans un grain de raisin, et la cassant au moyen du trait de lime, il m'a été possible d'introduire du suc de raisin dans le tube, et d'étudier sa fermentation. J'ajoute que pour éviter la rentrée de l'air ordinaire dans l'intérieur du tube, au moment où le suc s'y précipite, le grain de raisin était soudé sur un tube de verre contenant du coton, au milieu duquel passait la pointe effilée du tube : si l'air extérieur rentrait dans le petit tube effilé, il était donc obligé de traverser le coton destiné à arrêter les germes atmosphériques.

La fermentation du suc extrait ainsi directement de l'intérieur d'un grain de raisin a donné les résultats les plus variables.

Dans certains cas, le suc de raisin introduit dans de petits tubes de verre entrait en fermentation; mais dans d'autres cas, je pouvais le conserver indéfiniment sans altération : j'ai reconnu que ces différences d'action dépendaient des dimensions du tube et du rapport qui existait entre le volume du suc de raisin et celui de l'air laissé dans l'appareil.

Lorsque le tube ne contient plus qu'une petite quantité d'air, le liquide

absorbe rapidement l'oxygène qui s'y trouve, et est ainsi préservé de toute fermentation.

Par tous ces motifs, je suis donc persuadé que les observations faites sur du suc de raisin extrait de l'intérieur du fruit et introduit ensuite dans des appareils fermés, ne peuvent pas être invoquées pour résoudre les questions qui se rapportent à la génération du ferment alcoolique des fruits.

Il faut donc chercher ailleurs la solution de cet important problème.

L'expérience de Gay-Lussac est entièrement favorable à la théorie que je soutiens.

Je l'ai répétée un grand nombre de fois, en la variant de différentes manières; je suis donc en mesure de faire ressortir ici les conséquences que l'on peut en tirer.

On sait qu'il résulte de l'expérience faite par Gay-Lussac, que du raisin écrasé à l'abri de l'air, dans une éprouvette remplie de mercure, ne fermente pas; mais que ce raisin entre en fermentation dès qu'on fait passer une certaine quantité d'air dans l'éprouvette.

Au lieu d'admettre avec Gay-Lussac que, dans cette expérience, l'air avait pour effet de déterminer l'organisation de la substance azotée et de la changer en ferment, on a dit que si l'air introduit dans l'éprouvette détermine la fermentation du suc de raisin, c'est qu'il apporte les germes de ferment alcoolique qu'il contenait.

Comme l'exactitude de l'expérience de Gay-Lussac a été niée par des chimistes éminents, j'ai dû la répéter dans les circonstances les plus variées, et en conservant longtemps le suc avant de le mettre au contact de l'oxygène.

Mes expériences ont été faites dans les conditions suivantes et répétées plusieurs fois.

Des grains de raisin sont introduits dans une éprouvette remplie de mercure, et lavés environ vingt fois avec de l'acide carbonique pur; je les écrase ensuite avec une baguette de verre préalablement chauffée et sortant d'une éprouvette remplie d'acide carbonique.

J'ai conservé *pendant une année* cette éprouvette sur une cuve à mercure, en la chauffant avec de l'eau tiède lorsque la température extérieure venait à baisser.

Eh bien, pendant ce temps, le raisin écrasé à l'abri de l'air n'a pas présenté l'apparence même de la fermentation; la pulpe a conservé son aspect verdâtre.

Ce premier fait étant une fois bien acquis, j'ai fait passer dans l'éprouvette 2 ou 3 centimètres cubes d'oxygène dégagé par le chlorate de potasse, que je chauffais dans un tube effilé; toutes les parties du tube avaient été préalablement portées au rouge pour détruire les germes de l'air.

Au bout de deux jours, le raisin était en pleine fermentation.

Ainsi, l'expérience de Gay-Lussac est d'une parfaite exactitude, et le raisin écrasé peut se conserver indéfiniment sans fermenter lorsqu'il est préservé du contact de l'air.

J'ai voulu répéter l'expérience de Gay-Lussac dans d'autres conditions et engendrer l'oxygène en décomposant l'eau par la pile.

L'opération a été faite dans les mêmes conditions que précédemment; seule-

ment j'avais soudé d'avance à la partie supérieure des éprouvettes deux fils de platine qui me permettaient de faire passer un courant électrique dans le suc du raisin.

J'ai donc disposé l'expérience comme celle de Gay-Lussac; après avoir écrasé à l'abri de l'air les grains de raisin, j'ai placé ces éprouvettes dans une étuve dont la température était de 30°, et je me suis assuré qu'au bout d'un mois le liquide n'éprouvait pas de fermentation.

Ce liquide a été ensuite soumis à l'action d'une forte pile qui a dégagé quelques centimètres cubes d'un mélange détonant; en maintenant toujours la température à 30°, j'ai constaté qu'au deuxième jour le liquide entrait en fermentation comme dans la première expérience de Gay-Lussac.

Il résulte donc de ces différents essais que c'est bien l'oxygène qui donne au raisin la faculté de fermenter, et que le ferment n'est pas apporté par les poussières de l'air.

L'expérience de Gay-Lussac m'a fait entreprendre sur la fermentation du jus de raisin un grand nombre d'essais dont je ferai connaître ici les principaux résultats.

Du suc de raisin a été filtré à l'air avec le plus grand soin; l'opération a duré plusieurs heures, parce que, pendant la filtration du suc, il se forme un dépôt de substance albumineuse qui bouche les pores du filtre.

La liqueur étant exposée ainsi à l'air pendant longtemps a dû entraîner tous les germes de ferments alcooliques s'ils existaient dans l'air; en outre, le liquide s'est chargé, pendant sa filtration, d'une quantité d'oxygène suffisante pour déterminer le développement des germes atmosphériques.

J'ai introduit ce suc dans un tube bouché que j'ai renversé ensuite sur la cuve à mercure; on a dit qu'une cuve à mercure présentait à sa surface des quantités considérables de germes de ferments qui, dans l'expérience de Gay-Lussac, déterminent la fermentation du suc de raisin.

Ainsi, dans la théorie que je combats, le liquide devrait entrer en fermentation, car il contient tous les éléments qui doivent le faire fermenter.

Eh bien, il n'en est rien; je conserve depuis plusieurs mois, dans mon laboratoire, des sucs de raisin filtrés à l'air et introduits dans des tubes placés ainsi sur la cuve à mercure et qui ne présentent aucune apparence de fermentation.

J'ai introduit, dans cinq tubes, du suc de raisin préparé comme celui qui a servi dans l'expérience précédente; j'ai conservé ces tubes pendant quelques jours pour m'assurer qu'ils n'entreraient pas en fermentation, et ensuite j'ai fait passer dans ces tubes des quantités croissantes d'oxygène très pur préparé au moyen du chlorate de potasse.

L'oxygène a déterminé très rapidement la fermentation du suc dans les cinq tubes et avec une rapidité qui se trouvait en rapport avec la quantité d'oxygène employée.

Ces faits me paraissent donc confirmer complètement les opinions que j'ai émises sur la vitalité des sucs organiques et sur la génération des ferments sous l'influence de l'oxygène.

L'expérience précédente a été répétée dans des conditions particulières que

je vais faire connaître; elle avait pour but d'éviter l'influence que le mercure exerce quelquefois sur les milieux fermentescibles.

J'ai introduit du suc de raisin filtré à l'air dans vingt petits ballons en verre qui présentent des quantités très différentes d'air atmosphérique.

Les uns contenaient plus de la moitié de leur volume d'air, tandis que d'autres étaient presque entièrement remplis de liquide; quelques-uns même étaient privés d'air; le col de ces ballons a été ensuite fermé à la lampe.

Ces liquides, exposés pendant plusieurs jours à une température favorable à la fermentation, ont présenté les phénomènes suivants :

Ceux qui ne contenaient pas d'air n'ont fermenté que très incomplètement, tandis que ceux qui contenaient de l'air ont éprouvé une fermentation dont l'intensité a été sensiblement proportionnelle à la quantité d'air laissée dans le ballon.

Tous ces faits démontrent clairement que la génération des ferments est due à la vitalité des liquides organiques entretenue par l'oxygène, et nullement à l'influence des prétendus germes atmosphériques de ferments.

J'ai répété toutes les expériences précédentes avec du suc de raisin extrait directement à l'air, en pressant la grappe dans un linge, en opérant donc sur une liqueur trouble que je n'éclaircissais pas par la filtration, et qui devait contenir par conséquent tous les prétendus germes atmosphériques de ferment.

Les résultats que j'ai observés ont été absolument les mêmes que ceux qui ont été constatés sur le suc filtré.

Le liquide trouble conservé dans des tubes placés sur le mercure à l'abri de l'air et dont la vie se trouvait ainsi suspendue par le manque d'oxygène n'est pas entré en fermentation ; tandis que la fermentation s'est manifestée rapidement dès que le suc a reçu l'influence de l'oxygène.

La substance azotée que le suc de raisin laisse déposer, sous l'influence de l'oxygène, ne paraît donc pas exercer d'influence sur les phénomènes que j'analyse ici.

Il m'a paru intéressant de rechercher si la présence de l'acide carbonique enlevait au suc du raisin la propriété de fermenter sous l'influence de l'oxygène.

Du suc de raisin filtré à l'air a été saturé d'acide carbonique et introduit dans un tube rempli de mercure; le liquide conservé ainsi pendant plusieurs jours n'est pas entré en fermentation; j'ai fait passer ensuite dans le tube la quantité d'oxygène qui, dans d'autres expériences, avait été suffisante pour faire fermenter le suc de raisin ; la fermentation ne s'est pas produite.

J'ai constaté en outre que du suc de raisin placé dans le vide peut se conserver sans altération.

Il résulte de ces observations que toutes les influences qui s'opposent au développement des êtres vivants tuent également le suc de raisin et suspendent sa fermentation.

Les faits que je viens de faire connaître, et qui se rapportent à la fermentation du suc de raisin, confirment donc les considérations que j'ai présentées précédemment sur la vie des liquides organiques et sur la génération des ferments par la double influence de l'oxygène et des sucs végétaux.

Fermentations intracellulaires

J'ai donné le nom de *fermentations intracellulaires* à des fermentations qui peuvent se produire dans l'intérieur des cellules organiques, par conséquent dans des conditions où les germes atmosphériques de ferments ne peuvent pas pénétrer.

C'est dans la séance de l'Académie du 29 janvier 1872 que j'ai décrit le premier phénomène de fermentation intracellulaire; je l'ai observé, comme on le sait, sur l'orge germée.

J'ai démontré en effet que lorsqu'on abandonne de l'orge dans de l'eau sucrée, il se produit dans l'intérieur de la graine des fermentations alcoolique, lactique et butyrique.

La fermentation est bien dans ce cas *intracellulaire*, car c'est de l'intérieur des grains qu'on voit sortir les bulles d'acide carbonique qui entraînent des chapelets de grains de ferments.

Cette première observation démontrait déjà que c'était de l'intérieur du grain que partait la fermentation, et que le ferment se produisait ainsi en dehors de toute influence des germes atmosphériques.

Le 10 mars 1871, à la demande de mon savant confrère et ami M. Decaisne, j'ai placé dans de l'air atmosphérique et dans différents gaz des poires que j'avais comprimées avec le doigt, mais assez légèrement pour conserver sans altération la pellicule extérieure du fruit qui ne présentait aucune déchirure ; au bout de quelques jours les fruits étaient fortement odorants et contenaient des quantités très notables d'alcool; une fermentation alcoolique s'était donc produite dans l'intérieur du fruit, et dans des conditions où les poussières de l'air ne pouvaient pas exercer d'influence.

Cette production d'alcool dans ces conditions offrait un exemple incontestable d'une fermentation intracellulaire.

Depuis le 10 mars, j'ai varié et répété bien souvent l'expérience précédente, et j'ai toujours obtenu les mêmes résultats.

Pour constater d'une manière très simple la fermentation intracellulaire des poires, il n'est même pas utile de froisser le fruit avec le doigt, comme je l'avais fait dans ma première expérience ; il suffit d'abandonner pendant quelques jours des poires bien mûres dans un flacon portant un bouchon garni d'un tube laissant dégager les gaz.

Les fruits commencent d'abord par transformer l'oxygène de l'air en acide carbonique ; lorsque l'atmosphère du flacon ne contient plus d'oxygène la fermentation intracellulaire commence ; il se produit alors de l'alcool et de l'acide carbonique.

L'expérience ne doit pas être prolongée longtemps lorsqu'on veut constater, par la distillation des fruits, la formation de l'alcool ; car sous l'influence des ferments divers qui s'engendrent dans le tissu végétal et par l'action de l'oxygène, l'alcool se transforme très facilement en acide acétique ; l'atmosphère du flacon qui dans les premiers jours avait une forte odeur d'alcool devient acide, elle contient alors de l'acide acétique.

Lorsque après quelques jours d'expérience on examine le suc des poires et surtout les cellules qui adhèrent à la cuticule, on y trouve des grains abondants de ferment alcoolique.

Pour suivre les progrès de la fermentation alcoolique intracellulaire, on peut opérer sur la cuve à mercure, en introduisant les fruits dans des éprouvettes contenant différents gaz.

J'ai fait passer de petites poires bien mûres dans deux éprouvettes placées sur la cuve à mercure : l'une contenait de l'oxygène, l'autre de l'hydrogène.

Dès les premiers jours, j'ai constaté un dégagement d'acide carbonique dans l'éprouvette contenant de l'hydrogène, tandis qu'il se produisait une absorption très notable dans celle où se trouvait l'oxygène : cette absorption était due à la transformation de l'oxygène de l'air en acide carbonique, et ensuite à l'absorption de cet acide carbonique par le suc du fruit.

Bientôt cette absorption s'est arrêtée, et alors le dégagement d'acide carbonique s'est manifesté régulièrement dans cette éprouvette comme dans la première.

La fermentation alcoolique intracellulaire a eu lieu dans les deux cas : il s'est produit de l'alcool, et les sucs de fruits examinés au microscope contenaient en abondance, comme dans l'expérience précédente, des grains de ferment alcoolique.

J'ai introduit des grains de raisin dans un large tube qui, d'un côté, se trouvait en communication avec un dégagement de gaz, et qui, de l'autre côté, présentait une partie effilée plongeant dans la cuve à mercure.

Au moyen de cette disposition, il m'était facile d'étudier la fermentation intracellulaire du raisin placé dans différents gaz.

Lorsque je voulais mettre l'expérience en activité, je n'avais qu'à fermer à la lampe une partie du tube qui avait été étranglée d'avance.

En opérant dans des éprouvettes placées sur le mercure et contenant des gaz différents, je pouvais également étudier la fermentation intracellulaire des raisins soumis exactement aux mêmes conditions que les poires dont j'ai parlé précédemment.

Ces dispositions ont été appliquées à d'autres fruits, tels que les cerises et les groseilles.

Je n'ai pas à insister longuement sur les résultats de ces essais, car ils rappellent exactement ceux que j'avais constatés sur les poires.

Tous ces fruits, une fois soustraits à l'influence de l'oxygène, ont éprouvé la fermentation intracellulaire ; ils ont donné naissance à de l'acide carbonique et à de l'alcool.

Lorsque l'expérience était faite dans l'oxygène, le gaz, se transformant en acide carbonique, était d'abord absorbé par le suc du fruit ; mais lorsque le liquide se trouvait saturé d'acide carbonique, le dégagement du gaz continuait d'une manière assez régulière.

Je ne me suis pas contenté seulement d'étudier la fermentation intracellulaire des fruits placés dans différents gaz, mais je l'ai examinée également sur des fruits plongeant dans plusieurs espèces de liquides, surtout dans l'eau sucrée.

Ces études ont été faites sur du raisin, des groseilles et des cerises.

Il résulte de mes essais que, dans ces conditions, la fermentation intracellulaire se produit peut être encore avec plus d'énergie que quand les fruits sont placés dans les gaz.

Tout le sucre des fruits disparaît; le péricarpe devient opaque par l'action de l'alcool, et présente l'apparence d'un fruit qu'on aurait plongé dans de l'eau-de-vie.

Les cellules se distendent par le dégagement intérieur d'acide carbonique; ce gaz détermine ensuite la rupture du tissu cellulaire; on trouve dans le suc de fruit fermenté de gros grains de ferment; en un mot, tout démontre que la fermentation s'est produite à l'abri de l'air dans l'intérieur du fruit.

Cette fermentation alcoolique produite dans l'intérieur des fruits, sans l'intervention des germes atmosphériques, me paraît être la démonstration rigoureuse de la théorie que je soutiens.

Mes recherches sur les ferments et leur génération, peuvent être résumées dans les termes suivants :

Je me suis proposé de prouver dans ce travail que les ferments ne sont pas engendrés par des germes atmosphériques, mais qu'ils sont produits par les milieux organiques vivants.

J'ai voulu démontrer en outre qu'il existe une différence considérable entre la génération des moisissures et celle des ferments : les moisissures ont deux origines : elles peuvent être produites par les poussières atmosphériques et par les milieux organiques; tandis que les ferments ne sont engendrés que par l'organisation.

Ce point important me paraît établi par les observations suivantes :

1° Les poussières de l'air produisent des moisissures lorsqu'on les sème dans les liquides altérables.

Ces mêmes poussières introduites dans des milieux fermentescibles ne déterminent pas de fermentation.

2° Une pluie abondante et prolongée entraîne les organismes atmosphériques et enlève à l'air la propriété de produire des moisissures, tandis qu'elle n'apporte aucun obstacle aux phénomènes de fermentation : la cause des fermentations ne se trouve donc pas dans l'air.

3° Un air pur pris sur une montagne élevée n'engendre pas de moisissures parce qu'il ne contient pas de germes d'organismes : mais le même air peut déterminer des fermentations : tout le monde sait en effet que sur les plus hautes montagnes on produit le vin, le fromage, le vinaigre et le pain comme dans les villes; il existe donc une différence essentielle entre la génération des moisissures et celle des ferments; les fermentations sont, comme on le voit, absolument indépendantes des poussières contenues dans l'air.

4° Pour démontrer que l'air ne contient pas de germes de ferments, j'ai composé la liqueur, qui, d'après les beaux travaux de M. Pasteur, convient le mieux au développement des ferments, je l'ai abandonnée pendant plusieurs jours au contact de l'air : ce liquide, dans des observations multipliées, n'est

pas entré en fermentation, tandis qu'après un temps assez long il s'est couvert de moisissures. On doit donc admettre que l'air contient des germes de moisissures, mais non des germes de ferment.

5° Les observations précédentes perdraient toute leur valeur, si la présence des moisissures dans un liquide organique paralysait l'action des ferments.

Mais je suis assuré que les moisissures et les ferments alcooliques peuvent se produire et agir simultanément sur des milieux fermentescibles.

Lorsqu'on expose à l'air un suc de fruit il se couvre rapidement de moisissures; en le soumettant ensuite à la distillation on en retire des quantités considérables d'alcool.

Les moisissures et la fermentation alcoolique se sont donc produites simultanément.

Si une liqueur sucrée qui convient parfaitement au développement du ferment alcoolique n'entre pas en fermentation lorsqu'on l'expose à l'air, tandis qu'elle se couvre de moisissures, c'est que l'air ne contient pas de germes de ferments et qu'il s'y trouve des germes de moisissures.

6° Un suc de fruits soumis à l'ébullition n'entre plus en fermentation lors même qu'il est exposé à l'air; mais il se moisit presque toujours.

Cette expérience bien simple me paraît démontrer nettement l'absence des germes de ferments dans l'air atmosphérique.

Si en effet des germes de ferments existaient dans l'air, en s'introduisant dans le suc soumis à l'ébullition, ils devraient déterminer sa fermentation; c'est ce qui n'a pas lieu.

L'ébullition qui a tué le liquide ne lui a pas enlevé cependant la faculté de nourrir les organismes, puisque les moisissures s'y développent rapidement: j'ajouterai qu'en y introduisant une trace de ferment on détermine immédiatement sa fermentation.

Toutes ces observations prouvent donc que la force de génération des ferments se trouvent dans les milieux organiques et non dans l'air atmosphérique.

7° Les grains de raisin ne contiennent pas de ferments à leur surface; c'est ce que démontre l'expérience de Gay-Lussac.

Si les grains de raisin présentaient à leur surface une levure alcoolique, en les écrasant à l'abri de l'air ils devraient entrer en fermentation; or, on sait que dans ces conditions le suc de raisin mis en contact de la pulpe ne fermente jamais.

Les grains de raisin ne sont donc pas converts de ferment alcoolique: le ferment alcoolique se montre seulement lorsque le liquide vivant, sortant du grain, a reçu le contact de l'air, qui agit alors comme dans tous les phénomènes d'organisation, en apportant l'oxygène utile à la génération du ferment.

Si l'air contenait des germes de ferment alcoolique, du suc de raisin filtré à l'air et introduit dans un tube placé sur le mercure devrait entrer en fermentation: l'expérience prouve que, dans ces conditions, le suc de raisin ne fermente pas; donc il n'existe de germes de ferment ni dans l'air ni dans le suc de raisin.

8° Les fermentations que j'ai nommées *intracellulaires* paraissent donner la démonstration rigoureuse de la théorie que je soutiens.

Il est, en effet, établi aujourd'hui par un grand nombre d'expériences et d'observations, que les ferments et les fermentations se produisent dans l'intérieur même des tissus et des cellules, c'est-à-dire dans des conditions où l'air ne peut pas apporter les particules solides qu'il tient en suspension.

C'est ce que démontrent les observations suivantes :

Les grains de céréales placés dans de l'eau sucrée déterminent rapidement la fermentation du liquide; c'est de l'intérieur du grain que part la fermentation du liquide ; c'est de là que sortent et l'acide carbonique et les grains de levûre.

Tous les fruits mûrs abandonnés dans des flacons remplis d'air transforment en peu de temps l'oxygène en acide carbonique et produisent des quantités considérables d'alcool, à la suite d'une fermentation intracellulaire dans laquelle les particules solides de l'air ne peuvent pas intervenir.

Les tubes mycodermiques engendrent dans leur intérieur des corpuscules organisés qui sont de véritables ferments, dont la génération est dans ce cas encore indépendante des poussières de l'air.

Enfin, toutes les altérations morbides de tissus ou de liquides qui se produisent dans l'organisation sont de véritables fermentations intracellulaires dont la cause ne peut pas être attribuée aux particules solides de l'air, car l'air ne pénètre pas dans ces tissus.

9° Si, comme je crois l'avoir établi dans ce travail, la génération des ferments n'est pas produite par les poussières de l'air, elle ne peut être due qu'aux milieux fermentescibles mêmes.

J'admets en effet que les ferments sont toujours engendrés, soit par les cellules vivantes, soit par les liquides organiques qui contiennent des parties vivantes, lors même que le microscope ne permet pas de saisir la forme organique de ces êtres que j'ai désignés sous le nom de corps hémiorganisés.

Cette vitalité des liquides organiques, que j'ai établie par des expériences directes, rend compte facilement de la production de cinq ou six ferments différents par un même liquide tel que le lait.

10° Les principes que je soutiens dans ce travail conduisent à des conséquences bien différentes de celles qui résultent des autres théories.

S'il s'agit par exemple de la conservation des substances alimentaires par la méthode d'Appert, on déclare que pour préserver les matières organiques de l'altération, il faut tuer simplement les germes que l'air a introduit dans l'intérieur des appareils ou qu'il a déposés à la surface des corps que l'on veut conserver.

Ces recommandations me paraissent absolument insuffisantes : pour arriver à une conservation convenable des substances alimentaires, il ne faut pas seulement détruire les germes de moisissures que l'air contient accidentellement, mais on doit avant tout tuer les liquides organiques qui engendrent les ferments, et les placer dans des conditions où leur vie est impossible, en absorbant rapidement l'oxygène que l'air des appareils peut contenir.

Quant à l'altération des liquides organiques et principalement aux maladies des vins, les principes qui résultent de mes recherches sont différents aussi de ceux qui ont été émis.

Je n'admets pas que les ferments qui déterminent les maladies des vins vien-

nent de l'atmosphère : ils sont dus à la vie même du liquide organique qui s'exerce dans de mauvaises conditions.

Les préoccupations des personnes qui ont à surveiller les vins malades doivent donc porter sur le travail vital du vin, c'est-à-dire sur le liquide même.

Sous le rapport de la médecine, de l'hygiène et de la thérapeutique, mes conclusions ont un sens bien net.

Selon moi, ce n'est pas exclusivement dans l'air qu'il faut chercher tous les germes de ferments et probablement aussi les germes de presque toutes les maladies contagieuses.

Pour moi, au contraire, l'air atmosphérique est l'élément vivifiant par excellence : s'il transporte accidentellement des miasmes, des germes de moisissures, des insectes nuisibles, c'est lui qui le plus souvent les altère et les détruit.

La chirurgie nous fait connaître un grand nombre de cas dans lesquels l'air, avec toutes ses poussières, pénètre dans les tissus sans déterminer leur altération : souvent même, lorsqu'une plaie présente un mauvais aspect, le chirurgien n'hésite pas à renouveler sa surface et à la mettre largement au contact de l'air qui, dans ce cas, détermine une amélioration rapide.

Loin d'attribuer à l'air la cause de nos maladies, je pense qu'il faut la chercher dans les *altérations* qu'éprouvent les organes vivants : c'est à la suite de ces altérations que naissent les ferments redoutables.

En un mot, c'est dans l'organisation même que le médecin doit combattre la génération des ferments de maladie, et non dans l'air, qui ne les transporte que dans des cas exceptionnels.

On voit que la thérapeutique aura recours à des pratiques bien différentes, suivant qu'elle adoptera les idées que je combats ou celles que j'ai développées dans ce mémoire.

Le partisan des premières théories cherchera dans l'air les causes des maladies qu'il veut combattre : celui qui admettra mes principes s'occupera spécialement des organes vivants et fera tous ses efforts pour éviter leur altération spontanée, qui engendre toujours les ferments destructeurs.

Tout en insistant ici sur la génération des ferments de maladie par les organismes mêmes, je ne voudrais pas cependant que l'on donnât à ces considérations une exagération qui n'est pas dans ma pensée : je m'empresse donc de déclarer que, dans certaines maladies, l'influence des poussières atmosphériques, tout en étant accidentelle, ne doit pas être négligée : tout le monde connaît en effet les résultats merveilleux obtenus dans les opérations souscutanées.

En traitant des moisissures, j'ai dit qu'elles pouvaient être produites, soit par les liquides organiques vivants, soit par les poussières atmosphériques.

Il en est de même pour les ferments de maladie : leur origine est dans l'organisation même ; mais ces ferments, comme tous les corps légers, peuvent être entraînés par l'air ; le praticien, qui redoute avec raison, dans certains cas, leur influence, agit donc sagement en préservant les surfaces absorbantes de certaines particules albumineuses qui peuvent contenir des ferments de maladie, et dont la présence a même été constatée dans l'air des salles d'hôpitaux.

L'infection est due alors à deux causes, comme dans les phénomènes de moisissures.

L'organisation engendre les ferments de maladie, et l'air les transporte.

On voit que mes recherches sur la fermentation ont eu pour but principal de démontrer que la génération des ferments peut être expliquée *sans l'intervention des germes de ferments.*

Pour moi, les ferments s'engendrent sous l'influence des organismes vivants, comme tous les autres corps qui se trouvent dans l'organisation végétale ou animale, tels que la chlorophylle, l'amidon, les globules du sang, l'albumine, le sucre, les substances ligneuses, les acides, les bases, etc.

Ces différents principes peuvent être solubles, organisés ou vivants, et l'on n'a jamais pensé à les faire dériver de germes produits par des parents : pourquoi le ferait-on pour les ferments qui sont des agents de décomposition, c'est-à-dire de véritables réactifs chimiques, comparables aux autres substances organiques ?

Un même organisme placé dans des conditions différentes peut opérer, selon moi, plusieurs sortes de fermentations.

La théorie des germes présente le grave inconvénient de partager les ferments en deux classes qui comprennent, l'une les ferments solubles et non organisés, tels que les diastases, et l'autre les ferments organisés et vivants : ces ferments d'origine si différente agissent cependant de la même manière sur les corps fermentescibles.

Dans la théorie des germes, il est difficile de montrer ces germes et plus difficile encore de trouver leurs parents.

Je crois, en un mot, qu'on a confondu souvent l'organe vivant qui produit le ferment avec le principe chimique qui agit sur les corps fermentescibles. On serait dans le faux si l'on voulait soutenir qu'un ferment peut se produire sans l'intervention d'un organisme vivant.

Mais je crois aussi qu'il est impossible de démontrer qu'un ferment proprement dit dérive toujours d'un germe, et qu'un organisme vivant, au lieu de sécréter le ferment, est lui-même l'agent de décomposition des corps fermentescibles.

La théorie que je soutiens, sur la génération des ferments, me paraît donc avoir cet avantage : c'est qu'elle ne fait intervenir ni les germes de ferments ni les parents qui les produisent, et qu'elle explique comment un organisme vivant dans les différentes phases de son développement peut produire plusieurs espèces de fermentations.

En terminant, j'adresse ici tous mes remerciements à M. Maudet, qui m'a aidé avec une grande intelligence dans mes recherches sur les fermentations.

---

§ 9

MATURATION DES FRUITS

Les faits que j'ai consignés dans mes mémoires sur les substances gélatineuses des végétaux et sur les fermentations intracellulaires, permettent d'expliquer les principales modifications qui se produisent dans le péricarpe pendant la maturation des fruits.

Je résumerai ici les phénomènes chimiques qui permettent d'établir la théorie de la maturation des fruits.

1° La quantité d'eau contenue dans le péricarpe d'un fruit est toujours considérable et varie de 75 à 90 p. 100,

2° Les fruits de même espèce, analysés aux mêmes époques de l'année, présentent sensiblement la même proportion d'eau : des différentes parties du péricarpe d'un même fruit contiennent la même quantité d'eau.

3° La quantité de matières solubles contenues dans le péricarpe des fruits augmente toujours avec la maturation des fruits ; tandis que le poids de la partie insoluble du péricarpe diminue. On peut donc dire que les substances solubles contenues dans le suc d'un fruit se forment aux dépens de la partie insoluble du péricarpe.

Les corps qui deviennent solubles pendant la maturation sont l'amidon, la pectose, et un principe cellulosique gélatineux, que l'on nomme la gommose, qui, sous l'influence des acides ou celle des ferments, produit de la gomme.

4° C'est cette modification de la partie solide du péricarpe qui explique les changements qu'éprouve un fruit dans sa dureté et dans sa transparence, à mesure qu'il murit : on dit dans ce cas, pour le raisin, que *le fruit tourne.*

5° On voit souvent sortir d'un fruit très acide, comme la prune, un suc neutre qui, en se solidifiant par l'évaporation, produit à l'extérieur du fruit une substance gommeuse.

Ce phénomène curieux peut être facilement expliqué.

On trouve dans les fruits qui peuvent à certaines époques se recouvrir de gomme, une substance neutre, transparente, insoluble dans l'eau, qui est précisément la gomme. Cette matière est interposée dans les cellules du péricarpe; sous l'influence d'un ferment spécial, et aussi sous l'action des acides du fruit, la gommose devient soluble et se change en gomme : c'est cette gomme qui sort du fruit et vient se solidifier à l'extérieur sur la peau du fruit.

En étudiant la formation de cette gomme, j'ai reconnu que la goutte gommeuse qui sort du fruit se trouve toujours en communication, par un conduit particulier, avec un dépôt de gommose placé dans l'intérieur du fruit, entre les cellules du péricarpe.

Ces faits, que j'ai observés sur les fruits, se présentent dans les mêmes conditions sur les branches qui se recouvrent de gomme : cette substance, comme l'a constaté M. Trecul dans ses beaux travaux, paraît résulter de l'altération du tissu ligneux ; en effet, le grain de gomme qui se solidifie sur l'écorce d'un

arbre, tel que le prunier ou l'abricotier, est toujours en communication avec des couches ligneuses sous-jacentes profondément altérées.

6° Le fait principal que l'on observe dans la maturation des fruits comestibles est la production de la substance sucrée.

Le glucose qui apparaît dans les fruits mûrs provient évidemment de sources diverses.

Lorsqu'on voit l'amidon se trouver en très grande quantité dans certains fruits verts, comme dans la pomme et le raisin, et disparaître complètement de ces fruits au moment de leur maturité, il est impossible de ne pas admettre que c'est l'amidon qui, en se modifiant par l'action des acides ou celle des ferments, a produit le glucose des fruits.

Le sucre des fruits peut être aussi engendré par le dédoublement de certains glucosides, tels que le tannin qui existe dans presque tous les fruits verts, et qui ne se retrouve plus dans le fruit mûr.

7° La disparition de l'acidité dans les fruits qui murissent est certainement le fait le plus connu de la maturation des fruits.

On pourrait croire que l'acide du fruit est saturé, au moment de la maturation, par les bases minérales que la sève apporterait. J'ai démontré que cette hypothèse n'était pas admissible, car en analysant un grand nombre de fruits aux différentes époques de leur maturation, j'ai reconnu que la proportion de base minérale n'augmente pas.

Il est résulté aussi de mes observations que, pendant la maturation, les acides des fruits ne sont pas simplement masqués par le sucre ou les matières mucilagineuses qui se trouvent dans le fruit mûr, car en déterminant comparativement les quantités d'acide contenues dans un fruit vert et dans un fruit mûr, j'ai toujours trouvé beaucoup moins d'acide libre et combiné dans le fruit mûr que dans le fruit vert.

Puisque l'acide des fruits n'est ni saturé par les bases pendant la maturation, ni masqué par les corps gélatineux et sucrés, il faut donc admettre qu'il disparaît par suite d'une véritable combustion lente.

C'est ce fait capital que j'ai constaté par des expériences positives : il se produit dans l'intérieur d'un fruit qui murit ce que j'ai appelé les *fermentations* et les *combustions intracellulaires*.

8° Pendant son développement et sa maturation, un fruit traverse deux périodes qui se distinguent l'une de l'autre par des phénomènes chimiques bien tranchés.

Pendant la première période, que j'ai nommée *période d'accroissement*, le fruit qui présente ordinairement une couleur verte agit sur l'air atmosphérique à la manière des feuilles, il décompose l'acide carbonique sous l'influence solaire ; à cette époque, son volume augmente rapidement ; il reçoit par le pédoncule de l'eau et des substances minérales qui sont indispensables à son développement ; les cellules qui sont vivantes créent dans leur intérieur un grand nombre de principes différents et, en même temps, des ferments qui doivent les décomposer. Bientôt le fruit arrive à une seconde époque, que j'ai appelée la *période de décomposition successive* ; sa couleur verte est remplacée ordinai-

rement par une coloration jaune, brune ou rouge ; c'est alors que les fermentations et les combustions intracellulaires vont se produire.

Si à ce moment on examine l'action que l'air exerce sur le fruit mûr, on reconnaît que l'oxygène est transformé rapidement en acide carbonique, et qu'il se produit dans le fruit une série de phénomènes de fermentation ou de combustion lente.

Dans certaines espèces de fruits, les réactions qui se produisent dans l'intérieur du péricarpe ne peuvent s'effectuer que si le fruit est encore en communication avec l'arbre; dans d'autres fruits, comme pour l'orange, la maturation se complète lors même que le fruit est détaché de l'arbre, et il devient sucré.

Pendant la maturation, sous l'influence des fermentations intracellulaires et des combustions lentes, on voit se produire dans le fruit une série de réactions qui font disparaître un à un les principes immédiats solubles qui existaient dans le suc du fruit vert.

Le tannin se détruit ou se brûle le premier; puis viennent les acides; c'est le moment que l'on choisit en général pour manger les fruits : si l'on attendait plus longtemps, le sucre lui-même disparaîtrait et le fruit perdrait toute saveur. C'est ce qui arrive pour une orange que l'on a gardée trop longtemps : elle a perdu tous les principes qui se trouvaient dans l'intérieur des cellules.

Comme les phénomènes que je viens de décrire se produisent par l'action des ferments, on arrête toute maturation, comme l'observation le démontre, en cueillant un fruit trop tôt, c'est-à-dire à une époque où les ferments qui doivent opérer les transformations ne sont pas encore formés.

Jusqu'à présent, je n'ai parlé que des modifications intracellulaires qui se produisent sans que l'air ne pénètre dans l'intérieur du tissu cellulaire.

Mais les choses n'en restent pas là : bientôt les tissus perdent leur rigidité, se flétrissent; l'air peut entrer alors dans l'intérieur du péricarpe et le blessissement commence.

Le *blessissement* est un phénomène de décomposition rapide et profonde, qui a pour effet de faire disparaître tous les principes qui constituent le péricarpe du fruit et de compléter l'œuvre de destruction dont la première période était la maturation.

Dès que l'air entre dans l'intérieur des tissus, l'oxygène agit sur les membranes azotées et les colore en jaune; les éthers odorants qui s'étaient déjà produits dans la maturation et qui formaient l'arome des fruits s'engendrent en quantité considérable ; les germes de pourriture qui existent dans l'air apportent leur influence destructive, et bientôt le tissu qui constitue le péricarpe disparaît complètement.

La chimie a donc pu suivre complètement et rendre compte des phénomènes si remarquables qui caractérisent la maturation des fruits.

En résumé, on voit que, dans la maturation des fruits, le péricarpe éprouve trois modifications qu'il est facile de caractériser.

Dans la première période, qui est celle du développement, le fruit agit sur l'air à la manière des feuilles : les principes solubles prennent naissance, et

leur proportion augmente ; ces corps solubles sont l'amidon, le tannin, les acides, le sucre, la pectose, la pectine, etc.

Dans la seconde période, qui est celle de la maturation proprement dite, le fruit n'agit plus sur l'air atmosphérique comme le fruit vert et absorbe l'oxygène, qu'il transforme en acide carbonique. Les éléments solubles se brûlent successivement : les matières astringentes et les acides sont d'abord détruits ; c'est le sucre qui disparaît en dernier lieu.

Dans la troisième période, qui commence par le blessissement et finit par la pourriture, l'air entre dans les cellules et colore les substances azotées, il détermine le développement des ferments ; il détruit la cellule elle-même en mettant la graine en liberté.

Au point de vue physiologique, on peut donc dire que le but de la maturation des fruits est de débarrasser la graine du péricarpe qui la recouvrait.

Il appartenait à la chimie d'expliquer ce phénomène de destruction et de faire connaître les agents qui le produisent.

---

§ 10

CARACTÈRES CHIMIQUES DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX

Avant d'entreprendre mes recherches sur la production artificielle de la houille, j'ai voulu chercher des réactions chimiques qui pussent caractériser nettement les combustibles minéraux tels que la tourbe, les lignites, les houilles et l'anthracite.

Je donnerai ici le résumé des recherches que j'ai publiées sur cette intéressante question.

Les réactifs que j'ai employés pour distinguer les uns des autres les combustibles fossiles sont les alcalis, l'acide nitrique et les hypochlorites alcalins.

La tourbe ne peut pas être assimilée à un véritable combustible fossile; elle contient une quantité considérable de tissus ligneux qui n'ont éprouvé qu'une altération incomplète. On y trouve en proportion variable ces composés jaunes, bruns ou noirs qui sont désignés ordinairement sous le nom de *corps ulmiques.*

Les alcalis, même en dissolution étendue, dissolvent en partie ces composés ulmiques.

La tourbe est donc caractérisée facilement par la présence des tissus ligneux non décomposés et par la liqueur brune qu'elle produit lorsqu'on la traite par une dissolution étendue de potasse ou de soude.

Il existe un grand nombre de variétés de lignites, mais on peut toutes les faire rentrer dans les deux espèces suivantes : 1° les lignites qui présentent encore l'organisation ligneuse et qui constituent *les lignites xyloïdes* ou *bois fossile ;* 2° les lignites qui offrent souvent l'aspect et la compacité de la houille qui forment le *lignite compacte* ou *lignite parfait.*

Quoique le lignite xyloïde ait souvent l'apparence du bois, on reconnaît que, dans ce combustible, le tissus ligneux a éprouvé une profonde modification : il se réduit en poudre fine par la trituration; soumis à l'action d'une dissolution étendue de potasse il cède à l'alcali une quantité notable d'acide ulmique.

Du reste les deux réactions suivantes viennent établir une différence bien sensible entre le bois ordinaire et le lignite xyloïde.

Lorsqu'on fait agir à chaud l'acide azotique sur le bois on ne modifie facilement que la substance ligneuse à laquelle j'ai donné le nom de *vasculose :* le corps cellulosique utriculaire ou fibreux ne s'attaque que très lentement.

Tandis que, dans les mêmes circonstances, le lignite xyloïde est attaqué avec une grande énergie et transformé en une résine jaune acide qui se dissout en brun dans les alcalis.

Il est également facile de distinguer le lignite xyloïde du bois en employant les hypochlorites alcalins qui agissent sur ces deux corps comme l'acide nitrique.

Les hypochlorites n'enlèvent aux bois que la vasculose qu'ils contiennent;

tandis qu'ils dissolvent rapidement le lignite xyloïde en ne laissant que des traces de fibres.

Il résulte donc de ces observations que lorsque les tissus ligneux sont arrivés à un état de modification qui constitue le lignite xyloïde tout en conservant l'apparence du bois, ils présentent presque tous les caractères de la vasculose ; on peut donc admettre que le bois dans sa transformation en lignite xyloïde a perdu son principe cellulosique par suite d'une *fermentation* tourbeuse qui détruit les corps cellulosiques : on pourrait admettre aussi que dans la production du lignite, les corps cellulosiques auraient éprouvé dans leurs propriétés une modification profonde qui les rendrait solubles dans l'acide nitrique et les hypochlorites.

Après avoir caractérisé le lignite xyloïde, il était intéressant de rechercher si le lignite compacte qui ne présente plus la texture du bois, qui est noir et brillant comme la houille, peut être distingué de la houille.

Mes expériences ne laissent à cet égard aucun doute.

En effet, le lignite compacte noir et brillant qui pourrait être confondu avec la houille, en diffère par sa solubilité compacte dans les hypochlorites et dans l'acide nitrique.

Quant à l'anthracite qui se rapproche évidemment du graphite c'est par son analyse et par l'étude des produits de sa distillation qu'on détermine sa véritable nature.

On voit donc que les réactifs chimiques caractérisent nettement les principaux combustibles fossiles.

---

§ 11

RECHERCHES CHIMIQUES SUR LA FORMATION DE LA HOUILLE

Après avoir déterminé, dans les recherches précédentes, la composition chimique des tissus des végétaux, j'ai pensé que je pouvais étudier leur mode de décomposition et aborder la question difficile de *la production des combustibles fossiles*.

Si la paléontologie végétale a fait, dans ces dernières années, de si grands progrès, on peut dire que la partie chimique, qui se rapporte aux combustibles fossiles, est restée absolument obscure. On ignore sous quelle influence l'organisation des végétaux s'est détruite pour former cette masse noire, bitumineuse, en partie fusible, non organisée, insoluble dans les dissolvants, qui constituent la houille. Cette substance houillère ne ressemble ni aux corps pyrogénés que nous produisons dans nos laboratoires, ni aux tissus végétaux qui l'ont formée; par la distillation, elle engendre des corps volatils qui ne ressemblent pas à ceux que donne le bois; en outre, elle laisse comme produit fixe un charbon spécial, le coke, qui est bien différent du charbon de bois.

Dans mes études sur les combustibles fossibles, je me suis appliqué d'abord à chercher quelques caractères chimiques qui me permettraient de distinguer entre eux le bois, la tourbe, les différents lignites, la houille et l'anthracite. Ceux que j'ai trouvés sont les suivants : le *bois* n'est pas sensiblement attaqué par une dissolution étendue de potasse, tandis que la *tourbe* cède à cet alcali des quantités souvent considérables d'acide ulmique ; le *lignite xyloïde* ou *bois fossile* contient encore des proportions notables d'acide ulmique, mais ne peut être confondu ni avec le bois ni avec la tourbe, parce qu'il est transformé en résine jaune par l'acide azotique et qu'il est complètement soluble dans les hypochlorites; le *lignite compacte* ou *parfait* ne contient plus sensiblement d'acide ulmique, mais se dissout encore dans l'acide azotique et dans les hypochlorites; quant aux *houilles* et à l'*anthracite*, elles sont caractérisées par leur insolubilité dans les dissolvants neutres, acides, alcalins dans les hypoculorites.

En m'appuyant sur les faits que je viens de résumer, *j'ai abordé par la synthèse* la question de la formation des combustibles fossiles.

Les belles expériences de notre confrère M. Daubrée sur l'anthracite et celles non moins intéressantes de M. Baroullier sur la houille me permettaient de penser que la transformation houillère s'était produite par l'action de la chaleur et de la pression sur les végétaux.

Pour analyser le phénomène, j'ai disposé une série d'essais dans lesquels les tissus des végétaux d'une part, et de l'autre les substances qui les accompagnent le plus fréquemment dans l'organisation, étaient chauffés entre 200 et 300°, pendant de longues heures, dans des tubes de verre fermés aux deux extrémités.

Mes premières expériences ont été faites sur des tissus végétaux formés de cellulose et de vasculose, et ensuite sur des tissus à base de cutose.

J'ai constaté que ces tissus éprouvaient, dans ce cas, une modification profonde; ils devenaient noirs, cassants, dégageaient de l'eau, des acides, des goudrons, mais ils conservaient leur organisation première; ils n'entraient pas en fusion et donnaient un produit fixe qui n'offrait aucune ressemblance avec la houille.

Soumettant à la même épreuve un certain nombre de corps produits par l'organisme et qui se trouvent dans les tissus, tels que les sucres, l'amidon, les gommes, la chlorophylle ainsi que les corps gras et résineux qui l'accompagnent dans les feuilles, les résultats ont été bien différents.

J'ai reconnu en effet que, par une longue calcination faite sous pression, ces corps se transformaient en substances qui ont une certaine analogie avec les houilles Elles sont noires, brillantes, souvent fondues, absolument insolubles dans les dissolvants neutres, acides et alcalins, bien différentes du charbon, car, en les chauffant au rouge, elles se comportent comme de véritables substances organiques, dégagent de l'eau, des gaz, des goudrons, et laissent comme résidu fixe un coke dur et brillant.

L'analyse de ces matières que je désignerai sous le nom de *substances houillères*, est venue confirmer leur ressemblance avec la houille :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Houille du sucre.	66,84	4,78	28,43
Houille de l'amidon.	68,48	4,68	26,84
Houille de la gomme arabique . . .	78,78	5,00	16,22

Il m'a paru intéressant de rapprocher ces analyses de celle d'une houille sèche de Blanzy, faite autrefois par Regnault :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.
Houille de Blanzy	76,48	5,23	16,01	2,28

On constate donc ici une analogie presque complète entre la composition de la houille de gomme et celle d'une houille naturelle.

Je tenais à opérer d'abord sur ces trois substances parce que, d'après Ad. Brongniart, elles devaient être abondantes dans les végétaux qui ont produit la houille, et que la gomme provient souvent de l'altération des tissus, comme notre confrère, M. Trécul, l'a démontré.

Je tire naturellement des faits que je viens d'exposer cette conséquence que les principes contenus dans les cellules des végétaux, tels que les sucres, l'amidon, les gommes, ont dû jouer un rôle important dans la production de la houille, puisqu'ils se transforment sous l'influence de la chaleur et de la pression, en substances noires, insolubles dans tous les dissolvants, et qui se rapprochent beaucoup des houilles par leurs propriétés et leur composition.

Ce résultat était intéressant sans doute, mais le problème que je m'étais proposé n'était encore qu'en partie résolu; pour le compléter, il s'agissait d'expliquer comment les tissus des végétaux pouvaient perdre leur forme organique pour produire une masse amorphe qui est la houille; il fallait, en outre, faire éprouver aux tissus organiques *la transformation houillère* que j'ai réalisée en opérant sur les corps non organisés qui les accompagnent.

Mes études sur les lignites et sur la tourbe devaient ici m'être d'un grand secours : j'avais vu en effet apparaître dans ces combustibles l'acide ulmique à mesure que les tissus ligneux perdaient leur organisation ; quand une tourbe était avancée, je n'y trouvais plus que des restes insignifiants de tissus organisés, mais alors elle contenait jusqu'à 50 ou 60 pour 100 d'acide ulmique. En examinant des bois fossiles, j'y ai trouvé des couches assez épaisses, noires et brillantes d'acide ulmique, provenant de la transformation de la vasculose, à côté des fibres ligneuses qui n'étaient pas encore complétement désorganisées. Cette observation était précieuse pour moi : elle démontrait en effet *la transformation sur place*, et dans l'intérieur même du tissus ligneux, d'une partie du bois en acide ulmique.

J'ai été conduit à admettre ainsi un fait qui me paraît dominer toutes mes recherches, *c'est que les végétaux se sont changés d'abord en tourbe avant de produire la houille, et que, dans cette modification, la disparition des tissus organisés était due à une sorte de fermentation tourbeuse*, comme le pense notre confrère M. Van Tieghem.

Mais, pour confirmer cette hypothèse, il me restait à prouver que les acides ulmiques, et surtout celui de la tourbe, peuvent, comme les corps que j'avais expérimentés précédemment, se transformer en houille.

Tel a été le but des essais qu'il me reste à décrire.

J'ai opéré sur trois sortes d'acides ulmiques : 1° sur l'acide ulmique que j'ai retiré de la tourbe ; 2° sur l'acide saccharhumique, que notre confrère M. P. Thenard m'a donné, et qui sert de base à ses importants travaux ; 3° sur l'acide ulmique obtenu en traitant la vasculose par les alcalis.

Tous ces acides ulmiques se sont transformés en substances houillères sous la double influence de la chaleur et de la pression ; le temps de l'opération, que j'ai prolongé jusqu'à deux cents heures, a déterminé dans le produit une augmentation de carbone.

Voici la composition de ces houilles artificielles produites par les acides ulmiques :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Houille de l'acide ulmique retiré de la tourbe et chauffé pendant vingt-quatre heures	67,48	5,84	26,68
Même produit, chauffé pendant soixante-douze heures . .	71,72	5.03	23,25
Même produit, chauffé pendant cent vingt heures.	76,06	4,99	18,95
Houille produite avec l'acide ulmique de la vasculose . .	76,43	5,31	18,26

Ces analyses démontrent donc que l'acide ulmique provenant soit de la tourbe, soit d'un élément du bois, la vasculose, se change en un corps qui présente exactement la même composition qu'une houille naturelle et qui est insoluble, comme elle, dans tous les dissolvants.

L'acide saccharhumique s'est comporté comme l'acide ulmique de la tourbe.

Quant à l'acide ulmique dérivé de la vasculose, il est remarquable par sa fusibilité ; s'il s'est engendré, comme je le crois, avant la transformation houillère, il peut rendre compte de la production des houilles grasses et fusibles.

Pour compléter ces observations sur les corps qui sont intervenus dans la formation des combustibles fossiles, j'ai examiné les modifications qu'éprouvent,

sous l'influence de la chaleur et de la pression, les mélanges de chlorophylle, de corps gras et de résines que l'on retire des feuilles par un traitement à l'alcool.

Ce mélange, chauffé sous pression pendant cent cinquante heures, et qui était avant l'expérience soluble dans les alcalis, m'a donné une substance noire, visqueuse, odorante, absolument insoluble dans les alcalis caustiques, et qui présentait une analogie évidente avec les bitumes naturels.

Tels sont les faits que je voulais faire connaître sur le mode de formation de la houille; je crois pouvoir en tirer les conclusions suivantes :

1° La houille n'est pas une substance organisée : M. Renault, dont on connaît les importants travaux de Paléontologie végétale, constatait récemment encore, à ma demande, ce fait important.

2° Les empreintes végétales que présente la houille, qui ont été si bien étudiées par le créateur de la Paléontologie végétale, Ad. Brongniart, et par ses successeurs, se sont produites dans la houille comme dans les schistes ou toute autre substance minérale : la houille était une matière bitumineuse et plastique sur laquelle les parties extérieures des végétaux se moulaient facilement.

3° Lorsqu'un morceau de houille offre à sa surface des empreintes végétales, il peut donc arriver que les parties de houille sous-jacentes ne soient pas le résultat de l'altération des tissus qui étaient recouverts par les membranes externes dont la forme a été conservée.

4° Les principaux corps contenus dans les cellules des végétaux, soumis à la double influence de la chaleur et de la pression, produisent des substances qui présentent une grande analogie avec la houille.

5° Il en est de même des acides ulmiques qui existent dans la tourbe et de ceux que l'on prépare artificiellement.

6° Les matières colorantes, résineuses et grasses que l'on peut retirer des feuilles se changent, par l'action de la chaleur et de la pression, en corps qui se rapprochent des bitumes.

7° En se fondant sur les expériences décrites dans ce travail, on peut donc admettre que les végétaux producteurs de la houille ont éprouvé d'abord la *fermentation tourbeuse*, qui a détruit toute organisation végétale, et que c'est par une action secondaire, déterminée par la chaleur et la pression, que la houille s'est formée aux dépens de la tourbe.

Je suis heureux de dire, en terminant, que, dans ce travail, j'ai été aidé avec la plus grande intelligence par un jeune chimiste. M. Verneuil, qui est attaché à mon laboratoire du Muséum.

---

§ 12

RÉSUMÉ

Après avoir fait connaître les principaux mémoires que j'ai publiés sur la *Chimie des végétaux*, on me permettra de rappeler ici les faits nouveaux que je crois avoir découverts dans cette branche de la chimie :

1° Je citerai d'abord mes recherches sur le squelette des végétaux, que j'ai publiées tantôt seul, tantôt avec la collaboration de M. Urbain.

Ces mémoires ont eu pour but de démontrer que les tissus des végétaux ne sont pas formés par une substance unique, *la cellulose*, comme on le pensait généralement, mais par une série de substances différentes qui sont *les corps cellulosiques, les corps pectosiques, la vasculose et la cutose.*

2° Ce point fondamental étant une fois établi, j'ai entrepris alors une série de recherches dont le but était de faire connaître la composition et les propriétés de ces principes qui existent dans les tissus des végétaux et d'établir les différences qui les séparent de la cellulose.

Les corps cellulosiques ont des caractères communs; ils se dissolvent dans les acides pour produire de la dextrine et du glucose : en employant certains réactifs, j'ai prouvé qu'ils diffèrent entre eux par quelques caractères très nets. C'est ainsi que j'ai établi l'existence dans les tissus des végétaux d'une série de corps cellulosiques isomériques que j'ai désignés sous les noms de *cellulose*, de *matacellulose* et de *paracellulose.*

3° *Les corps pectosiques* qui accompagnent les substances cellulosiques dans les tissus m'ont occupé pendant plusieurs années; leur état gélatineux rendait leur purification difficile.

Je suis arrivé cependant à tracer leur histoire d'une manière assez complète, et à faire ressortir l'intérêt considérable qui s'attache à ce genre de corps.

J'ai d'abord démontré que les corps pectosiques qui sont neutres au moment où ils apparaissent dans la végétation peuvent sous l'influence des ferments ou celle des réactifs chimiques, prendre peu à peu de l'acidité et devenir ensuite aussi énergiques que certains acides des fruits. Ces observations démontraient donc comment l'acidité peut se développer dans certaines substances organiques.

J'ai prouvé en outre que ces corps jouent un rôle important dans la maturation des fruits, et qu'ils produisent, suivant leurs modifications, soit la partie gommeuse, la pectine, soit le principe gélatineux du jus de fruits, c'est-à-dire l'acide pectique.

Mes études sur les corps gélatineux m'ont permis de résoudre un certain nombre de questions qui intéressent la physiologie végétale et même l'industrie.

Un fabricant de sucre me demandait pourquoi les pulpes de betteraves mélangées avec de la chaux donnent des sirops amers, chargés de chaux et ne cristallisant pas : je lui ai démontré que ces accidents étaient dus aux composés pectiques toujours abondants dans les pulpes de betteraves qui, sous l'influence

de la chaux, se transformait en métapectate de chaux soluble dans l'eau et incristallisable.

Mes recherches sur les composés pectiques ont permis également de donner la théorie du rouissage basée sur la transformation de la pectose contenue dans le lin ou du chanvre, en acide métapectique, qui, en raison de sa solubilité dans l'eau, met les faisceaux fibreux en liberté.

Lorsqu'ensuite dans le travail que j'ai publié en collaboration avec M. Urbain, j'ai voulu dédoubler les faisceaux fibreux pour les transformer en fibres semblables à la soie, je me suis appuyé encore sur les propriétés des composés pectiques pour dissoudre le ciment qui relie les fibres, et qui est principalement formé de pectose et de pectate de chaux.

On voit donc qu'un certain nombre de questions importantes ne pouvaient être résolues qu'à la suite, de mes recherches sur les corps gélatineux des végétaux, et que cette étude devait être en quelque sorte placée en première ligne dans le programme que je m'étais proposé.

4° Après avoir isolé, à l'état de pureté, les principes qui se trouvent dans les tissus des végétaux et déterminé leur caractères, j'ai trouvé une méthode d'analyse quantitative de ces différents éléments qui m'a permis d'apprécier avec précision les proportions de chacun de ces corps qui existent dans le tissu le plus complexe.

Nous pouvons donc analyser aujourd'hui une tige ligneuse qui contient un si grand nombre d'éléments, comme en chimie minérale, nous déterminerons la composition du minerai le plus complexe.

J'attache une certaine importance à cette méthode analytique des composés insolubles qui se trouvent dans les tissus, parce que je suis persuadé qu'elle permettra de suivre certains phénomènes de développement végétal qui jusqu'alors n'avaient pas pu être abordés.

Aussi je suis persuadé que les qualités des fibres végétales du lin, du chanvre, du jute, de la ramie, dépendent en grande partie des proportions de la pectose, du culose, du vasculose et de corps cellulosiques qui s'y trouvent.

Ces proportions qui, autrefois, étaient inconnues, peuvent être, aujourd'hui, déterminées avec exactitude et éclairer les industriels qui font usage de ces différentes substances fibreuses.

On pourra également, grâce à la méthode analytique que j'ai donnée, reconnaître à quelle époque ces corps apparaissent dans les tissus des végétaux, et sous quelles influences ils se développent.

5° La substance ligneuse que j'ai nommée *vasculose*, et qui joue un rôle considérable dans la constitution du squelette des végétaux, est surtout abondante dans les parties du tissu ligneux qui sont lourdes et qui présentent de la dureté. On en trouve 18 p. 100 dans les bois légers et 40 p. 100 dans le bois de fer. Les endocarpes de la pêche et de la noix de coco peuvent en contenir jusqu'à 60 p. 100.

J'ai démontré que la vasculose ne peut pas être confondue avec les corps cellulosiques, car elle ne se dissout pas dans l'acide sulfurique et se change en acide résineux par l'action des oxydants.

C'est la vasculose qui, dans la distillation du bois produit principalement

l'esprit de bois : c'est elle aussi qui forme, par l'action des alcalis, les composés ulmiques.

La fabrication des papiers de bois et de paille est basée sur la dissolution de la vasculose, par l'action des réactifs, qui laissent alors les fibres à l'état de pureté.

6° A côté de la vasculose vient se placer une substance très intéressante, à laquelle j'ai donné le nom de *cutose*.

C'est elle qui, sous la forme d'une membrane fine et transparente, recouvre et protège les parties aériennes des végétaux.

La cutose fait partie du ciment qui lie entre elles les fibres des faisceaux ligneux dans le lin et le chanvre.

Au point de vue chimique, la cutose est certainement la plus intéressante de toutes les substances ligneuses : elle tient le milieu, par sa composition et ses caractères, entre les corps gras et les résines : sous l'influence des alcalis, elle se dédouble en deux acides gras que nous avons nommés *stéarocutique* et *oléocutique*.

Ces deux acides peuvent, sous différentes influences telles que la chaleur, la lumière, reprendre l'état membraneux et reconstituer une substance qui présente la plus grande analogie avec la cutose naturelle.

Nous avons donc pu dédoubler la cutose et la reconstituer ensuite.

6° Les faits qui précèdent nous permettaient de faire une étude complète des parties fibreuses des végétaux qui sont formées par les éléments que nous avions découverts et étudiés précédemment. Cette partie de notre travail nous conduisait nécessairement à des questions qui intéressent plusieurs industries telles que celles du rouissage et du blanchiment.

Il est résulté de nos recherches que les substances fibreuses des végétaux peuvent affecter deux états différents qui constituent les *fibres* et les *faisceaux fibreux*.

Les fibres sont à base de cellulose et de paracellulose : les faisceaux fibreux sont produits par l'agglomération des fibres sous l'influence d'un ciment végétal composé de pectose, de pectate de chaux, de cutose et de vasculose.

En nous basant sur nos études chimiques de ces différents corps, nous avons trouvé le moyen de remplacer, dans le rouissage basé sur la fermentation putride, l'action des ferments par celle des agents chimiques.

Ce résultat nous a paru important, car on sait que le rouissage ordinaire compromet souvent la santé des ouvriers et peut altérer la qualité des fibres.

Nous avons constaté au point de vue industriel un fait plus intéressant encore, je veux parler de la transformation des faisceux fibreux tels que ceux qui constituent le lin, le chanvre, le jute, la ramie, en fibres blanches et brillantes qui ont absolument l'apparence de la soie.

Pour réaliser cette transformation, nous soumettons les faisceaux fibreux à l'action de divers réactifs, tels que les alcalis ou les oxydants, qui dissolvent le ciment végétal et laissent les fibres dans un état de pureté absolu. Ces fibres ainsi préparées ont, comme je l'ai dit, l'aspect de la soie ; elles sont blanches et brillantes et prennent facilement la teinture.

Nous sommes donc persuadés que la désagrégation des faisceaux fibreux

donnera à l'industrie tout une série de corps nouveaux qui pourront rivaliser avec la soie.

Tel est le résumé des faits nouveaux qui forment la première partie de mes recherches sur les tissus des végétaux.

La seconde partie se rapporte à l'étude de quelques corps qui jouent un rôle important dans l'organisation végétale et à l'explication de certains phénomènes intéressants qui se produisent dans l'intérieur des tissus.

Je parlerai en premier lieu de mes recherches sur la chlorophylle.

8° J'ai consacré plusieurs mémoires à l'étude difficile de la substance verte des végétaux que les chimistes désignent sous le nom de *chlorophylle* et qui détermine la décomposition de l'acide carbonique par les plantes.

Mon but principal étant d'apprécier la composition chimique de cette curieuse substance, je suis arrivé sur ce point à un résultat tout à fait inattendu, mais que je n'ai pas constaté du premier coup et qui a exigé de ma part de nombreuses expériences.

Il résulte, en effet, de mes dernières recherches que la substance verte des végétaux est formée par un mélange de deux substances : l'une est jaune et cristalline; je lui ai donné le nom de *phylloxanthine;* l'autre qui est verte est un *véritable sel* qui résulte de la combinaison de la potasse avec un acide d'un vert bleuâtre que j'ai nommé *phyllocyanique.* La substance verte des feuilles n'est donc pas, comme on l'avait cru jusqu'à présent, un principe organique neutre, mais un sel véritable que j'ai nommé le le *phyllocyanate de potasse.*

Le chlorophylle joue, au point de vue physiologique, un double rôle.

Pendant la vie des feuilles, sous l'influence solaire, elle concourt à la décomposition de l'acide carbonique.

Lorsque les feuilles meurent et tombent, le sel alcalin qui se trouve dans la feuille se décompose et rend au sol l'alcali qui sert alors aux végétations nouvelles.

9° Dans un travail que j'ai publié en collaboration avec M. Cloëz, sur les matières colorantes des fleurs, j'ai démontré qu'on peut tirer des fleurs trois substances colorantes différentes.

Celle que nous avons appelée la *xanthine* est jaune résineuse et insoluble dans l'eau.

Nous avons donné le nom de *xanthéine* à une autre substance jaune qui est soluble dans l'eau.

La matière colorante la plus intéressante est celle que nous avons étudiée sous le nom de *Cyanine;* elle prend des teintes différentes sous l'influence des sels, des acides ou des alcalis; elle peut, dans ce cas, produire des teintes bleues, vertes, violettes ou roses.

Le mélange de cyanine, de xanthine et de xanthéine, différemment influencé par les corps acides, neutres ou alcalins qui peuvent exister dans le suc des fleurs, explique donc, jusqu'à un certain point, leurs différentes couleurs.

10° Dans un mémoire déjà ancien, je me suis occupé de la constitution et du mode de formation de certains baumes.

Il résulte de mes recherches que les principaux baumes proviennent de l'oxy-

dation à l'air de corps qui, dans l'organisation végétale, étaient d'abord liquides et formés de deux principes différents.

L'un, par son oxydation, produit la partie résineuse des baumes.

L'autre peut être comparé à une aldehyde; il forme, en s'oxydant, tantôt de l'acide benzoïque, tantôt de l'acide cinnamique.

11° Mon travail sur les gommes m'a conduit à une découverte bien singulière :

On avait considéré, avant moi, la gomme arabique comme un corps neutre. J'ai démontré qu'il n'en était rien et que cette gomme était un véritable sel, résultant de la combinaison de la chaux avec un acide nouveau que j'ai nommé *acide gummique* : la gomme arabique est donc un *gummate de chaux.*

En préparant l'acide gummique pur et en le combinant à la chaux, j'ai reproduit artificiellement la gomme arabique.

12° Dans un mémoire que j'ai publié en commun avec M. Cloëz, j'ai démontré qu'il existe une analogie frappante entre la composition chimique d'un pollen et celle d'une graine oléagineuse.

Il est curieux de voir la *déhiscence* et le développement du *boyau pollinique*, qui peuvent être comparée jusqu'à un certain point à un phénomène de germination, se produire dans le pollen qui présente à peu près la composition d'une graine.

13° Travaillant en collaboration avec mon collègue et ami M. Deherain, nous avons publié, sur les betteraves à sucre, une série de recherches qui nous ont conduit aux conclusions suivantes :

Les betteraves peuvent arriver à un développement normal dans un sol absolument privé d'humus, à la condition d'être arrosées régulièrement et de recevoir des engrais renfermant de l'azote, de l'acide phosphorique, de la chaux et de la potasse : dans ces conditions de culture, les betteraves peuvent contenir jusqu'à 18 pour 100 de sucre.

D'après nos analyses, ces betteraves, riches en sucre, sont pauvres en matière albuminoïde; tandis que les betteraves qui contiennent une forte proportion de substance azotée renferment peu de sucre.

Il est important, dans la culture de la betterave, de choisir avant tout une graine de bonne nature qui exerce la plus grande influence sur la production du sucre : mais il faut savoir aussi qu'on peut obtenir de mauvaises betteraves, lorsque les bonnes graines sont semées dans un sol qui contient une proportion exagérée d'engrais azotés.

14° J'ai publié, tantôt seul tantôt en collaboration avec M. Boutron, une série de mémoires sur la *fermentation lactique.*

J'attache de l'importance aux résultats que j'ai obtenus, parce que mes recherches ont introduit des idées nouvelles dans la théorie des fermentations et reçu des applications à la physiologie végétale et animale.

Dans ces travaux nous avons donné, pour la première fois, l'explication de la production de l'acide lactique dans le lait, dans le bouillon et dans tous les sucs de fruits qui s'aigrissent.

Nous avons démontré que ces transformations sont dues à l'action d'un *fer-*

ment spécial, que nous avons nommé *ferment lactique*, sur un corps fermentescible qui peut être du sucre, de la lactose, etc.

Nous avons proposé de donner à ces phénomènes la dénomination de *fermentation lactique* en énonçant pour la première fois le principe suivant : Il existe un grand nombre de fermentations différentes qui toutes sont produites par des ferments spéciaux : la levûre de bière ne produit pas sur le sucre la même transformation que le ferment lactique : si cependant la levure donne naissance à de l'acide lactique, c'est qu'elle a éprouvé une modification qui la change en ferment lactique.

15° Mes recherches sur les fermentations lactique, pectique, synapisique, etc , m'ont conduit à des recherches générales sur la génération des ferments.

J'admets, avec Gay-Lussac, que les ferments sont créés par les organismes; ils ne viennent donc pas de l'extérieur, mais bien de l'intérieur.

L'air peut transporter des ferments comme il transporte tous les corps légers; mais ces ferments ont été créés par les cellules organisées et vivantes.

J'admets, en un mot, que lorsqu'un fruit entre en fermentation, c'est que dans l'intérieur des cellules, des ferments se sont produits : c'est à ces fermentations que j'ai donné le nom de *fermentations intracellulaires* : Lorsqu'une cuve de raisin entre en fermentation, ce n'est pas parce que la cuve a reçu quelques germes atmosphériques, mais parce que les cellules vivantes du raisin et les corps gélatineux que j'ai appelés *hemiorganisés*, ont engendré des ferments, comme ils engendrent tous les autres principes qui se forment dans l'intérieur des cellules.

Lorsqu'un abcès cancéreux se produit dans les profondeurs d'un tissu, je n'admets pas que cet accident de fermentation soit dû aux poussières de l'air, mais bien à une altération du tissu qui a engendré les ferments de destruction.

En un mot, et c'est là le point fondamental de mes recherches sur la fermentation, j'explique la génération des ferments sans faire intervenir les germes de l'air; j'admets qu'un même organisme peut se modifier dans les phases de son développement et engendrer alors des fermentations différentes

16° Mes études sur les fermentations me conduisaient naturellement à des recherches sur la maturation des fruits.

Il résulte de mes expériences que les transformations qu'éprouvent les fruits pendant leur maturation sont dues à des phénomènes de fermentation intracellulaires.

Un fruit mûrit parce qu'il se débarrasse peu à peu, à la suite de fermentations intracellulaires, des principes astringents et acides qu'il contenait lorsqu'il était vert: le sucre disparaît lui-même lorsque le fruit n'est pas mangé à un moment convenable.

Dans ces transformations du fruit, il arrive une dernière période qui commence par le blessissement et qui finit par la pourriture : l'air entre alors dans les cellules, les derniers ferments de destruction apparaissent et désorganisent tous les tissus en mettant la graine en liberté; ce qui est le but final et physiologique de la maturation des fruits.

17° J'arrive enfin, dans ce résumé de mes travaux sur la chimie des végétaux. à mes recherches sur les combustibles fossiles, que je considère en quelque sorte

comme une application à la géologie de toutes mes observations précédentes, et la conclusion de mes recherches sur la chimie des végétaux.

Après avoir déterminé la composition chimique du tissu des végétaux, j'ai pensé que je pouvais rechercher comment ces tissus se sont modifiés pour produire les corps si importants que l'on désigne sous le nom de *combustibles fossiles*.

Dans un premier travail, j'ai donné d'abord des caractères chimiques qui établissent des différences très nettes entre la tourbe, les lignites, les houilles et l'anthracite.

Soumettant ensuite la question à l'analyse et à la synthèse, j'ai voulu rechercher comment des tissus organisés tels que le bois avaient pu perdre leur organisation pour donner naissance à des masses compactes et fusibles telles que les houilles; opérant sur les tissus ligneux, j'ai essayé enfin de reproduire par l'expérience des masses noires ayant quelque analogie avec les houilles et l'anthracite.

Mes expériences m'ont conduit aux conséquences suivantes :

On peut admettre que les végétaux producteurs de la houille ont éprouvé d'abord une *fermentation tourbeuse* qui a détruit presque complétement la structure cellulosique du tissu ligneux et qui a transformé en composés ulmiques les corps tels que la culose et la vasculose : alors, à la suite d'une action secondaire déterminée par la chaleur et la pression, la houille s'est produite aux dépens des corps précédents.

Cette théorie n'est pas basée sur une simple hypothèse, elle est fondée sur l'expérience : prenant en effet les corps qui se forment pendant la transformation tourbeuse, et les soumettant à une chaleur modérée et à la pression, je les ai transformés en masses noires et brillantes qui offraient les propriétés principales et la composition de la houille.

Tel est le résumé des recherches sur la chimie des végétaux que j'ai poursuivies, pendant plus de trente années, dans mon laboratoire du Muséum d'histoire naturelle.

Dans ces travaux, je me suis trouvé presque toujours en présence de corps incristalisables dont l'étude présente de grandes difficultés, comme le savent tous les chimistes.

Je ne regrette pas cependant le temps considérable que j'ai consacré à ces recherches, parce qu'elles pourront, je l'espère, jeter quelque jour sur les questions encore obscures de la synthèse végétale.

FIN

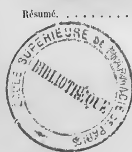
TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

COMPOSITION CHIMIQUE DU SQUELETTE DES VÉGÉTAUX



DEUXIÈME PARTIE



FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.